

Evidències geomorfològiques dels canvis del nivell marí

Francesc GRÀCIA, Bernat CLAMOR, Robert LANDRETH, Damià VICENS i
Peter WATKINSON

SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA
NATURAL DE LES BALEARS

Gràcia, F., Clamor, B., Landreth, R., Vicens, D. i Watkinson, P. 2001. Evidències geomorfològiques dels canvis del nivell marí. In: Pons, G.X. i Guijarro, J.A. (Eds.): *El canvi climàtic: passat, present i futur*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 9: 91-119. ISBN: 84-87818-34-X. Palma de Mallorca.

Els canvis climàtics succeïts al llarg del Quaternari han ocasionat variacions del nivell de la mar, amb la conseqüent modificació de la línia de costa. La configuració i extensió de les terres emergides estan en funció d'aquestes oscil·lacions glacioeustàtiques que repercuteixen també en la dinàmica dels ecosistemes insulars. Diverses evidències geomorfològiques d'aquests episodis transgressius i regressius han quedat enregistrades al litoral, tant per damunt com per davall de l'actual nivell marí. En aquest treball es passa revista a moltes d'aquestes proves dels canvis climàtics, que en sí mateixes formen part del nostre paisatge litoral, tant del que és visible a l'exterior, com del que roman amagat sota les aigües de la mar o a l'interior d'espectaculars cavitats càrstiques.

Paraules clau: *Quaternari, paleogeografia, geomorfologies, canvis del nivell de la mar.*

GEOMORPHOLOGICAL EVIDENCES OF SEA LEVEL CHANGES. Climatic changes during the Quaternary have led to sea-level changes and consequently to changes in the coast line. The shape and size of emerged lands are directly related to glacio-eustatic oscillations which also effect the dynamics of insular ecosystems. Diverse geomorphological evidence of these transgressive and regressive episodes have been recorded along the coast, both above and below the current sea-level. In this paper, many of the proves for these climatic changes, which in themselves form part of the island's seascape, are looked at. These proves can be seen on the surface, under the sea, and inside spectacular karstic caves.

Keywords: *Quaternary, palaeogeography, geomorphology, sea-level changes.*

Francesc GRÀCIA: Grup Nord de Mallorca. Pollença i Societat d'Història Natural de les Balears. Estudi General Lul·lià. Sant Roc 4. E-07001 Palma de Mallorca; Bernat CLAMOR i Robert LANDRETH: Grup Nord de Mallorca. Pollença; Damià VICENS: Secció d'Espeleologia del Grup Excursionista de Mallorca. Palma de Mallorca i Societat d'Història Natural de les Balears. Estudi General Lul·lià. Sant Roc 4. E-07001 Palma de Mallorca i Peter WATKINSON: Grup Nord de Mallorca. Pollença.

Introducció

L'estudi del Quaternari marí de Mallorca des del punt de vista estratigràfic, morfològic i paleontològic porta ja una llarga trajectòria, gràcies a les nombroses publicacions de diversos investigadors (Butzer i Cuerda, 1962; Butzer, 1975; Cuerda, 1975; Cuerda i Sacarès, 1992; Pomar i Cuerda, 1979, entre d'altres).

Molt abundants són també els estudis d'interacció entre la dinàmica marina i les cavitats litorals. Són nombrosos els dipòsits d'eolianites plistocèniques descrits a l'interior de coves de la costa, que de vegades recobreixen o són recoberts per precipitats litoquímics (e.g., Ginés et al., 1975; Gràcia et al., 1997; 1998a). Aquest camp de recerca permet investigar les interferències entre endocarst i litoral i interpretar-les cronològicament i morfogènica (Ginés, 2000).

La investigació sobre datacions absolutes d'espeleotemes indicadors de paleonivells freàtics presents dins cavitats litorals va suposar un avanç qualitatiu de primer ordre per situar cronològicament diferents nivell marins (Henning et al., 1981; Ginés, 2000; Ginés i Ginés, 1989; 1993a; 1993b; Pomar, 1987; Tuccimei et al., 1997; 1998; 2000; Vesica et al., 2000).

Hi ha hagut ja qualque assaig per recopilar les evidències geomorfològiques dels canvis del nivell marí, tant del punt de vista estrictament marí com càrstic (Cuerda, 1975; Gràcia i Vicens, 1998).

Les oscil·lacions del nivell marí

La costa és la frontera que separa el domini marí del terrestre i ha estat afectada al llarg dels temps geològics per diversos factors que han conduït a un canvi posicional d'aquest límit. Es tracta per tant d'una delimitació dinàmica, que determina importants implicacions geogràfiques i biològiques.

Una de les causes que provoquen la variació del nivell marí és el canvi climàtic. Al llarg de l'era Quaternària s'han produït

cinc períodes de fred anomenats glaciacions, separats per períodes interglacials de clima càlid o bé temperat. Tanmateix aquesta és una visió simplista de la realitat, ja que es té constància de l'existència de fluctuacions climàtiques menors que es superposen als períodes anteriors.

Les variacions climàtiques produeixen importants alteracions en l'extensió de les plaques de gel polars i de les glaceres, variant en gran quantitat el volum d'aigua gelada, que es tradueix en una major o menor disposició d'aigua líquida a la mar, i per tant en una diferència del nivell marí. Com a conseqüència d'aquest procés glacioeustàtic (a més d'altres factors) en els cicles freds el nivell de la mar va descendir fins uns 130 m per davall de l'actual nivell marí (durant les darreres glaciacions del Riss i del Würm que han estat les més intenses del Quaternari), mentre que en els períodes càlids la transgressió assolí uns +90 m i sembla que els nivells màxims de cada interglacial d'ençà del Plistocè inferior han disminuït progressivament fins a situar-se lleugerament per damunt de l'actual nivell marí durant el darrer interglacial Riss-Würm (Fig. 1).

Degut a altres causes que provoquen eustasia i que se superposen a les causes climàtiques (variacions en el geoide, moviments geològics verticals, variacions en la capacitat de les conques oceàniques, etc) no es poden generalitzar per tota la Terra els estudis locals de canvis del nivell marí, per la qual cosa no queda més solució que efectuar models vàlids a escala local o regional, que serveixen per estudiar les variacions glacioeustàtiques de zones determinades. Ni tan sols pel conjunt de la Mediterrània es poden efectuar generalitzacions, ja que a diferents llocs es dedueixen variacions altitudinals molt importants entre evidències coetànies, això és degut a reajustaments tectònics produïts al llarg del Quaternari.

El que és inqüestionable és la successió d'episodis de transgressió i regressió marina, amb períodes d'estabilitat de més o menys durada, que han permès generar unes emprems (evidències geomorfològiques) en

el litoral que serveixen per tenir constància d'aquestes variacions en el nivell de la mar (Fig. 2). El fet de que Mallorca tectònicament ha restat relativament estable, sobre tot al Plistocè superior, remarca la importància de l'estudi d'aquestes empremtes.

Repercussions paleogeogràfiques

A partir de les dades d'alçada del nivell marí assolit durant les regressions i transgressions, és fàcil reconstruir mitjançant un mapa topogràfic la configuració geogràfica de les Balears en cada moment climàtic (Fig. 1).

Les més grans davallades de la mar feren que Mallorca, Menorca, subarxipèlag de Cabrera, Dragonera i altres illots s'unissin formant la Gran Gimnèsia que comprenia també les actuals extensions del canal de Menorca, les badies i part de les plataformes continentals. Aquesta illa tenia una extensió aproximada de devers 9.600 km², molt en comparació amb els 3.640 km² de la Mallorca actual o els 4.360 km² del conjunt de les Gimnèsies. Mentrestant Eivissa, Formentera i illots adjacents s'uniren formant la Gran Pitüsa, de devers 2.000 km², respecte als 623 km² actuals de les dues illes sumades.

Al llarg de les màximes transgressions de la mar aquesta va entrar profusament per les badies i zones baixes i va disminuir, fragmentar i negar extenses superfícies de terreny. Les regressions implicaren la retirada de les aigües de les zones poc profundes i la comunicació de zones aïllades, com són les illes i illots actuals, encara que n'apareixien d'altres, actualment submergits per complet.

Repercussions biològiques

El fet de que les condicions climàtiques d'un àrea no restin invariables al llarg del temps condiciona i modifica les distribucions de les espècies, segons la capacitat adaptativa que presentin. A les Balears, les regressions de la fauna i flora terrestre no podien superar la superfície insular i moltes espècies s'extin-

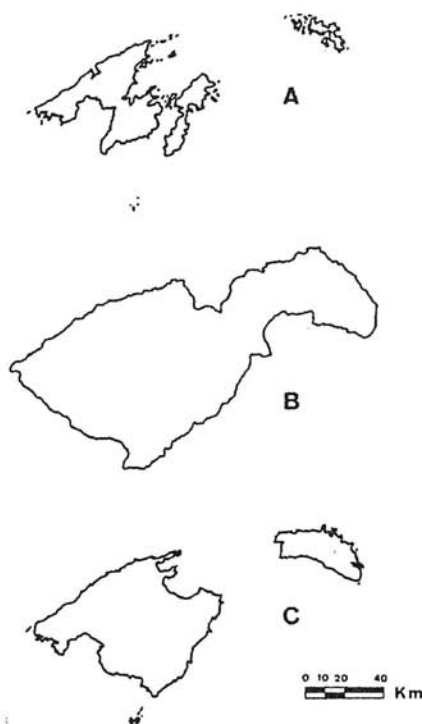


Fig. 1. Configuració geogràfica aproximada de les Gimnèsies al llarg del Quaternari: A) Màxima transgressió al Plistocè inferior; B) Màxima regressió al Plistocè superior i formació de la Gran Gimnèsia; C) Distribució actual de les terres emergides.

Fig. 1. Approximate geographic configuration of Mallorca and Minorca during the Quaternary: A) Maximum transgression during the Lower Pleistocene. B) Maximum regression during the Upper Pleistocene and the formation of the Gran Gimnèsia. C) Current distribution of the emerged lands.

giren. Van estar sotmeses a fortes variacions climàtiques, així segons Rose *et al.* (1999), estimen en 4,9°C la temperatura mitja anual a Mallorca durant la darrera glaciació, respecte dels 17°C actuals. Per altra banda suggereixen una temperatura mitja anual de 19,2°C pel període interglacial Riss-Würm (estadi isotòpic 5e).

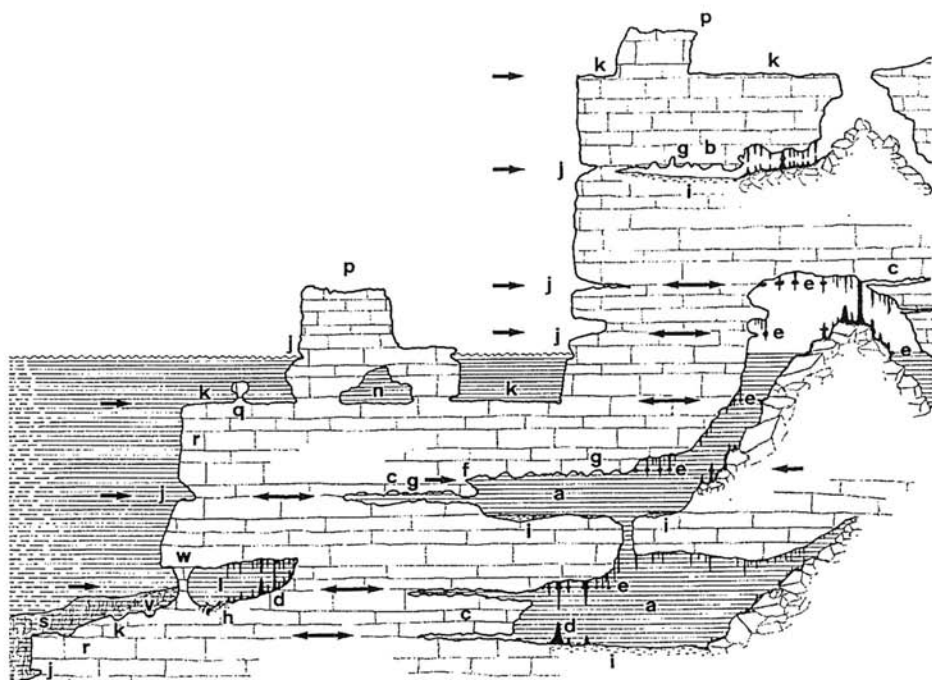
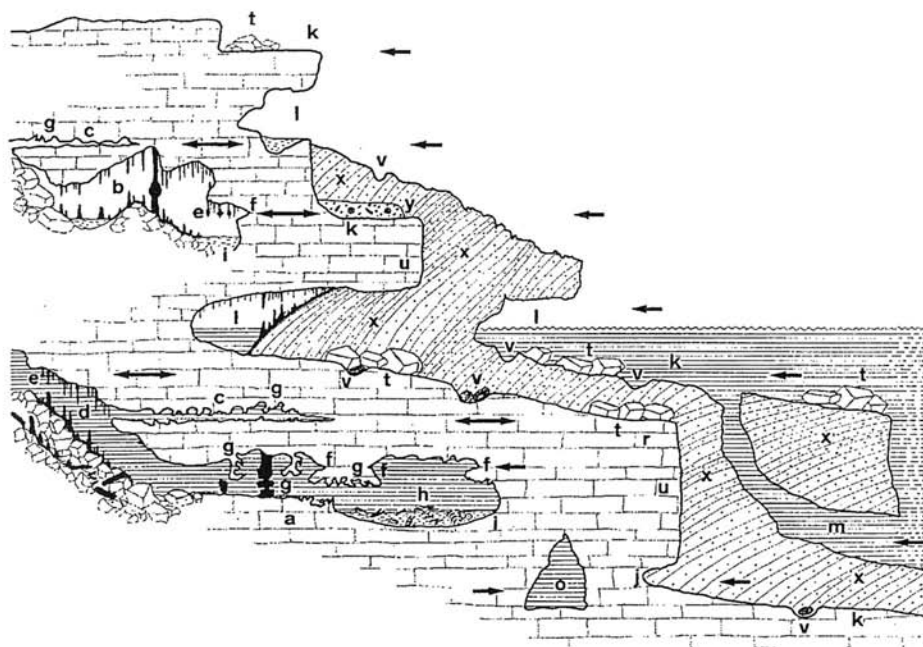


Fig. 2. Recopilació idealitzada de les principals evidències geomorfològiques dels nivells marins: a) Cavitats freàtiques inundades; b) Cavitats freàtiques fòssils; c) Galeries iniciadores; d) Espeleotemes submergits; e) Espeleotemes indicadors de paleonivells freàtics; f) Regates de corrosió; g) Morfologies de corrosió; h) Presència de fòssils quaternaris dins les cavitats inundades; i) Presència de varves; j) viseres; k) Plataformes; l) Coves d'abrasió marina; m) Bufadors; n) Arcs; o) Túnel; p) Farallons; q) Pedestals; r) Caps rocosos; s) Canyons submarins; t) Camps de blocs; u) Paleopenya-segats; v) Marmites de gegant; w) Columnes d'abrasió; x) Dunes fòssils adossades; y) Jaciments fòssilífers. Les fletxes indiquen antics nivells de la mar. *Fig. 2. Idealised collection of the main geomorphologic evidence for sea-level changes: a) Flooded phreatic caves. b) Fossil phreatic caves. c) Geomorphic stable galleries. d) Submerged speleothems. e) Phreatic paleolevel indicators on speleothems. f) Water-level notch marks. g) Corrosion morphologies. h) Presence of Quaternary fossils in non-inundated caves. i) Presence of varves. j) Notches. k) Platforms. l) Marine abrasion caves. m) Blowholes. n) Arches. o) Tunnels. p) Rocky peak. q) Pedestal. r) Headland. s) Submarine canyons. t) Fields of loose blocks. u) Paleocliffs. w) Potholes. w) Abrasion columns. x) Fossil dune ramps. y) Sites with fossils. The arrows show previous sea-levels.*

Molts dels vegetals i animals que en el present es troben restringits dins àrees molt confinades (torrents, cavitats, cims, etc.) ocupaven un àrea major en el passat i actualment són testimonis d'antiors condicions climàtiques més favorables per a aquestes espècies.

Durant els períodes de fred més intens, coincidint amb les màximes regressions marines (més de 100 m), la totalitat de les illes i illots actuals quedaren units (Fig. 1). Llavors totes les faunes i flores de la Gran

Gimnèsia es mesclaren i homogeneïtzaren; el mateix passà a la Gran Pitiüsa. Però entre la Gran Gimnèsia i la Gran Pitiüsa romanien un canal marí de més de 70 km, infranquejable per a la fauna terrestre, per la qual cosa les espècies de la Gran Gimnèsia i de la Gran Pitiüsa evolucionaren independentment les unes de les altres. Les faunes i les flores d'aquests dos grups d'illes eren ben distints, degut a que tenien una història paleogeogràfica diferent.



La posició altimètrica de la mar determina l'aïllament o la connexió de zones geogràfiques que poden esdevenir illots durant alguns milers d'anys; en aquestes condicions d'aïllament de poblacions separades de la resta es dona un procés de diferenciació i formació de races i subespècies i, si l'aïllament persisteix, d'espècies noves. Únicament afecta els éssers vius que tenen problemes de connexió genètica (com per exemple: rèptils, coleòpters àpters, mol·luscs terrestres, etc.).

Evidències geomorfològiques

Algunes morfologies geològiques constitueixen molt bones visualitzacions d'antics nivells de la mar, ja que s'han format per l'acció de les onades. Es poden complementar i reforçar mútuament diferents tipus d'evidències (Fig. 2). Algunes d'elles han pogut ésser situades cronològicament mitjançant mètodes de datació absoluta, d'altres es poden arribar a enquadrar dins un període

de temps determinat per datació relativa. Tanmateix en molts casos ni tan sols s'han generat durant un únic nivell de la mar, si no que s'han format al llarg de diferents períodes que han anat modificant la morfologia primigènia.

Es poden establir correlacions altimètriques, entre etapes concretes d'algunes cavitats càrstiques i paleolinies de la costa. En moltes de les cavitats litorals és possible observar qualche tipus d'interferència entre el modelat càrstic i la morfogènesi costera.

EVIDÈNCIES CÀRSTIQUES

Hi ha una forta dependència entre l'evolució de l'endocarst costaner i les oscil·lacions del nivell marí. Pel fet de que geològicament Mallorca és una illa constituïda majoritàriament per roques calcàries determina que el modelat càrstic sigui molt important. La dissolució i precipitació de la roca a

l'interior de les masses calcàries està molt afectada per la influència del nivell marí.

D'ESPELEOGÈNESI

El nivell de base al qual s'ajusta el nivell de les aigües subterrànies litorals és el nivell marí. A la zona freàtica de les zones càrstiques litorals tenen lloc processos de mescla d'aigües marines i continentals, els quals potencien l'actuació dels mecanismes espeleogenètics a causa de l'agressivitat resultant d'aquests processos geoquímics (Back *et al.*, 1984; Plummer, 1975). Per tant, es produeix l'excavació preferent de conductes i galeries endocàrstiques, que possibiliten en ocasions reconèixer horitzons espeleogenètics relacionats amb paleonivells marins plistocènics (Myroie i Carew, 1988; Proctor, 1988). El nivell de base marí controla també la posició tridimensional de la lent d'aigües subterrànies continentals i de les zones de drenatge d'aquestes aigües freàtiques (Grodzicki, 1985; Lowry i Jennings, 1974). A partir d'estudis realitzats a les Bahames, Myroie i Carew (1988; 2000) diferencien dues zones espeleogenèticament principals: la zona de l'haloclina (zona de contacte o interfase entre l'aigua dolça superior, menys densa i l'aigua marina, inferior per esser més densa) i la zona epifreàtica, on es barregen les aigües d'infiltració vadoses i les aigües freàtiques, dotades de diferents continguts de CO₂.

L'evolució vadosa que han sofert les cavitats càrstiques és la responsable de la transformació de molts dels conductes primigenis (galeries iniciadores), evidències morfològiques lligades a les primeres etapes de l'espeleogènesi (Ginés i Ginés, 1992; Ginés, 1995). Cal relacionar nivells preferents d'espeleogènesi amb antics nivells marins (Fig. 2).

Sembla que les fases més actives de corrosió degueren produir-se en el Plistocè inferior o bé al Pliocè.

a) Cavitats freàtiques inundades

Les mateixes cavitats freàtiques són una evidència d'antics nivells de la Medi-

terrània, ja que aquestes coves litorals es formen a la zona de barreja de les aigües dolça i salada i, per tant, és òbvia la seva relació amb els nivells de base responsables de la carstificació. L'evolució, especialment en condicions vadoses, fan que totalment o bé parcialment estiguin modificades pel creixement gravitacional; per tant és precís analitzar les galeries que no s'han vist molt modificades en alçària respecte al nivell inicial de formació (galeries iniciadores). La darrera pujada del nivell marí fa que una bona part de les cavitats estigui sota les aigües, inundant fragments de cavitats que havien evolucionat en condicions vadoses. (Fig. 2a)

Les cotes inferiors de les coves estudiades es troben a fondàries de fins a -30 m, respecte de l'actual nivell marí (Gràcia *et al.*, 2000). Teòricament a les cavitats freàtiques inundades, al menys localment, és possible que els processos de corrosió sota les aigües sigui actiu. Exemples d'aquestes coves són: les coves des Drac, les coves dets Hams, la cova des Pont, la cova des Pirata (Manacor), la cova dets Ases, la cova d'en Passol (Felanitx), la cova des Drac de Cala Santanyí (Santanyí).

b) Cavitats freàtiques fòssils

En moltes cavitats d'origen freàtic l'antic nivell responsable de la carstificació es veu alterat perquè la cova va ascendint verticalment per la caiguda dels materials que formen el sostre, provocant el creixement antigravitacional i volumètric de la cova. D'aquesta manera l'antic sistema de conductes excavats en règim freàtic (galeries iniciadores) se situava per davall de les sales actuals. Aquest procés clàstic pot provocar que la cavitat estigui per complert en sec (cavitats freàtiques fòssils). També la davallada del nivell freàtic per causes climàtiques pot fer que cavitats poc alterades morfològicament i de cota respecte de les galeries iniciadores s'allunyin verticalment de l'aigua, i passin a estar en condicions vadoses, incrementant-se els processos clàstics i litoquímics de llavors ençà; ja no son cavitats actives, encara que una posterior fase climàtica podria tornar a reactivar els processos espeleogenètics de la gruta (Fig. 2b).

La cova des Pont i la cova des Pirata (Manacor) són exemples de cavitats freàtiques prou modificades respecte dels antics conductes que les crearen, però per la seva condició d'estar parcialment inundades no les consideram com a fòssils. La cova Tancada (Alcúdia), les coves d'Artà (Capdepera) i la cova des Moro (Manacor) serveixen d'exemples.

c) Galeries iniciadores

Aquí incloem totes les galeries de corrosió poc alterades per processos clàstics, tant si encara estan sota les aigües (figuren a un apartat anterior com cavitats freàtiques inundades), com si les oscil·lacions climàtiques han deixat les galeries en sec (cavitats freàtiques fòssils). En el primer cas tenim part de les galeries subaquàtiques de la cova des Coll (Portocolom, Felanitx) i de determinades zones de la cova de Cala Varques B (Manacor) i de la cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor). Galeries iniciadores que actualment estan en condicions vadoses són algunes de les galeries de la cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor) i una galeria fòssil de la cova des Drac des Rafal des Porcs (Santanyí) en principi dins materials poc propicis del complex terminal; els conductes laberíntics de la cova Figuera (Manacor) també n'estarien inclosos.

Són formes endocàrstiques molt interessants com a evidències d'antics nivells freàtics, ja que determinen cotes d'espeleogènesi. (Fig. 2c)

DE PRECIPITACIÓ

L'estalagmitització aèria ofereix àmplies perspectives de datació radiomètrica, que permet documentar amb precisió les fases principals de precipitació vadosa de carbonats, permetent endemés determinar l'edat dels sediments i de diversos processos recoberts per les colades estalagmítiques datades (Ginés, 2000).

a) Presència d'espeleotemes a les cavitats subaquàtiques litorals

La major part dels espeleotemes (estalactites, estalagmites, columnes, colades, etc.)

no es poden formar sota l'aigua; és necessari tenir unes condicions aèries perquè es puguin formar. La presència d'aquests dipòsits de precipitació química a les cavitats submarines o a les cavitats litorals inundades, tant si són d'origen marí com formades per la mescla d'aigües en condicions freàtiques, ens demostren que es varen formar en condicions vadoses, durant períodes més freds que l'actual, amb el nivell de la mar, i per consegüent el nivell freàtic, per sota d'aquestes formacions (Fig. 2d). De llavors ençà un altre canvi climàtic els va donar la condició actual de subaquàtiques. Pertanyen per tant a episodis regressius del Mediterrani.

b) Espeleotemes indicadors de nivells freàtics

Els canvis altimètrics en la situació de la línia de costa queden de vegades enregistrats a l'interior de les coves càrstiques. A la superfície dels calcats llacs de les cavitats litorals es produeix la precipitació del carbonat càlcic sobre espeleotemes aeris o a les voreres dels llacs, i s'hi forma un engrossiment característic, de vegades espectacular, tant per les mides com per la bellesa i varietat de formes que poden assolir. Mitjançant programes de datació absoluta s'han pogut datar aquests revestiments (Henning *et al.*, 1981; Ginés i Ginés, 1993b; Tuccimei *et al.*, 1998; 2000). En el cas de Mallorca s'han constatat nombrosos espeleotemes amb paleonivells situats entre l'actual nivell de la mar i la cota de +40 m, i s'han correlacionat altimètricament i cronològica amb les antigues línies de costa del Plistocè mitjà i superior reconegudes mitjançant la resta d'evidències (Fig. 2e).

Actualment s'estudia la troballa de paleonivells per sota del nivell de la mar fins als -23 m. Les cotes se situen entre -1,5 i -23 m; són especialment abundants les alineacions d'aquests espeleotemes a profunditats entre -13 i -17 m, provinents d'episodis freds, d'edats compreses entre 63,7 i més de 350 ka, relacionant-se amb els estadis isotòpics 4, 6, 7 i 8, així com als subestadis 5b, 5d i 5e. Algunes mostres aporten edats superiors als 350 ka, corresponent com a mínim a l'estadi isotòpic 9 (Fig. 3).

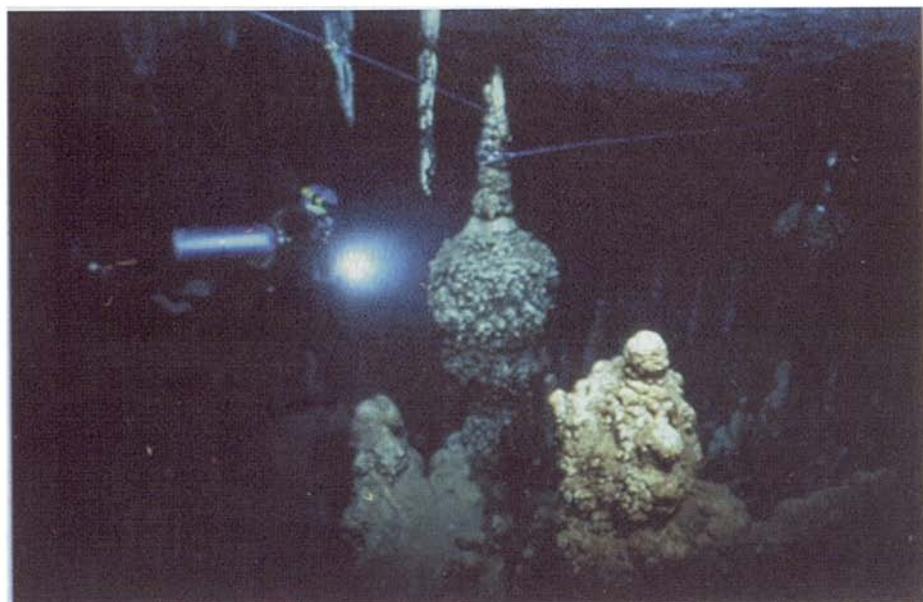


Fig. 3. Espeleotemes de la cova de sa Gleda (Manacor). Aquestes concrecions es varen formar en condicions vadoses. Es pot apreciar sobre algunes estalagmites un sobrecreixement freàtic espectacular (enfrent de l'espeleobussejador), es tracta d'un paleonivell regressiu localitzat a -15 m, indicador d'una pulsació climàtica de caràcter fred. Foto O. Espinasa.

Fig. 3. Speleothems in the Cova de sa Gleda (Manacor). These were formed under vadose conditions. On some stalagmites some impressive phreatic overgrowths (in front of the cave diver) can be seen, they belong to a regressive paleolevel at -15m, and indicate a cold pulsation. Photo O. Espinasa.

La tònica actual observable a les aigües superficials dels llacs de les cavitats litorals és la sobresaturació, responsable de la continuïtat en l'engrossiment característic i en la formació de làmines de calcita flotant.

DE CORROSIÓ

Les activitats d'espeleobusseig realitzades en nombroses coves de Mallorca (Gràcia et al., 1997, 1998a, 1998b, 2000) posen de relleu l'existència en profunditat, d'horitzons hídrics en els quals predomina la dissolució. Aquests estan relacionats preferentment amb les zones de mescla, les quals es diferencien amb facilitat per la terbolesa que aquests processos otorguen a la visibilitat subaquàtica. Els horitzons de dissolució, associats a l'interfase actual a la zona de mescla afecten tant als materials calcarenítics neògens i materials plegats mesozòics com a tot tipus d'espeleo-

temes submergits sota les aigües de les cavitats.

a) Regates de corrosió freàtica

Són solcs anivellats a les parets de roca, que s'han format per la corrosió a nivell de superfície de l'aigua, i per tant indiquen el nivell freàtic que les va generar; ja que el nivell dels llacs hipogeus està en relació amb el nivell de la mar (Fig. 2f).

La presència de regates de corrosió en cavitats litorals de Mallorca està poc documentat. Se n'han trobat a la cova des Coll aproximadament a uns -3 m respecte del nivell actual de la mar (Fig. 4), estan associats amb les morfologies anomenades "pentinades de roca" (Gràcia et al., 1997); també estan citats a la cova des Moro a +23,5 i +23,9 m (Trias, 2000).



Fig. 4. Regata de corrosió a una galeria de la cova des Coll (Felanitx). Aquesta menjada a la paret representa un nivell de dissolució epifreàtic antic, associat amb les morfologies de corrosió anomenades "pentinades de roca", que es desenvolupen per davall de la regata i sembla que poden haver-se format a conseqüència de cèl·lules de convecció generades per diferències locals de densitat. Foto O. Espinasa.

Fig. 4. Water-level notches in a gallery in the Cova des Coll (Felanitx). These represent a previous epiphreatic dissolution, and are associated with corrosion morphologies called "pentinades de roca", which develop above the notches and their formation is believed to be due to pockets of convection generated by local differences in density. Photo O. Espinasa.

Aquestes morfologies impliquen que a la superfície dels llacs hipogeus predominaria la dissolució per estar subsaturats.

b) Morfologies de corrosió

Encara que la seva presència a les parets i sòtils de les galeries i sales no determinen per si mateixes la superfície del nivell freàtic assolit (exceptuant les regates de corrosió), si que, en el cas de presentar-se, proven el fet d'haver estat exposades sota les aigües corrosives (Fig. 2g). La documentació que es disposa sobre elles és encara escassa (Gràcia *et al.*, 1997; 1998a; 1998b; 2000; Merino, 1993; 2000).

c) Corrosió d'espeleotemes sota les aigües

També els espeleotemes es veuen afectats per les aigües agressives (Gràcia *et al.*, 1997; 1998a; 1998b; 2000). Molts indrets de les cavitats inundades tenen les formacions litoquímiques amb un altíssim grau de corrosió, que gairebé ha esborrat tot vestigi del recobriment secundari que ha desaparegut dissolt per l'aigua. Aquest fet proporciona la informació de certa activitat espeleogenètica a la cavitat, ja que com a mínim ha dissolt importants rebli-

ments de massissos estalagmítics degut a una nova transgressió marina.

d) Corrosió diferencial dels fòssils respecte de la roca mare

Conseqüència de la dissolució de la roca i el creixement volumètric per dissolució de la cova és el fet d'afllorar els fòssils respecte de la roca que els conté, en cas d'ésser més resistents a l'efecte corrosiu. Tenen el mateix valor informatiu que les dues evidències anteriors i es presenta associat a elles.

e) Franges horitzontals fosques

Es tracta de franges horitzontals, encara no investigades, normalment de colors foscos, que estan presents a les parets d'algunes cavitats (Gràcia et al., 2000; 2001). Podrien haver-se format, tant a la zona epifreàtica, assenyalant un antic nivell del llac, com a la zona de mescla, indicant en aquest cas un nivell d'haloclines.

DE REOMPLIMENT

a) Presència de fòssils quaternaris terrestres dins les cavitats inundades

Les formes endèmiques dels vertebrats terrestres inclosos a les seqüències sedimentàries d'algunes coves, poden subministrar valuoses dades estratigràfiques que ens informen de vegades de l'evolució geomorfològica de la pròpia cavitat.

L'exploració de galeries subaquàtiques de diferents cavitats litorals ha permès realitzar la troballa d'exemplars de *Myotragus balearicus* dipositats en superfície a profunditats compreses entre els 8 i 14 m. Alguns d'aquests exemplars es troben a gran distància de la boca d'entrada i en posició anatòmica, el que implica que les restes òssies no han estat transportats per corrents o per gravetat (Fig. 2h i 5). Això ens indica que durant pulsacions fredes del Plistocè les galeries romanien seques, al menys parcialment, la qual cosa permetia l'accés terrestre del caprí endèmic a



Fig. 5. Troballa de fòssils de vertebrats endèmics terrestres (*Myotragus balearicus*) a les galeries inundades de la cova d'en Bessó. Aquests animals entraren i moriren dins la cavitat quan aquesta estava en sec, en un cicle climàtic més fred que l'actual. Foto R. Landreth.

Fig. 5. Fossil find of terrestrial endemic vertebrates (Myotragus balearicus) in inundated galleries of the Cova d'en Bessó (Manacor). These animals entered and died inside the cave when it was dry, during a climatic cycle colder than the present. Photo R. Landreth.

zones internes de les coves, actualment inundades. La seva presència és, per tant, un testimoni afegit d'un clima més gèlid que l'actual (Gràcia *et al.*, 2000; 2001a; 2001b)

b) Presència de fòssils marins de valor geocronològic

Espècies que han viscut en un període limitat de temps ens informen d'una datació relativa i serveixen per realitzar una interpretació geomorfològica. En el cas d'esser indicadores de temperatures determinades ens proporcionen informació del clima imperant en el moment de la sedimentació.

c) Presència de varves, generades sota les aigües

Ens informen de la diposició dels sediments sota l'aigua. Molts d'aquests dipòsits tenen un alt potencial d'estudi (Fig. 2i).

EVIDÈNCIES MARINES

Les línies de costa quaternàries situades per damunt del nivell marí han estat ben estudiades a Mallorca, principalment per part de D Joan Cuerda, excepcional científic i persona. L'illa posseeix gran quantitat de dipòsits marins, molts d'ells fòssilífers i compta també amb moltes altres evidències dels antics nivells de la mar (Cuerda, 1975).

Però són també molt importants i espectaculars les evidències situades per sota del nivell actual de la mar, que en molts de llocs superen en estat de conservació, dimensions i claredat documental als circumstancialment aeris.

MORFOLOGIES D'EROSIÓ

La litologia i estructura de la costa condicionen en gran part l'eficàcia de l'acció erosiva de la mar sobre el litoral. Les formes erosives són molt nombroses en tot el litoral de Mallorca, especialment dins les calcarenites del Miocè superior post-orogènic corresponent al Migjorn de Mallorca (principalment dels termes municipals de Manacor, Felanitx, Santanyí i Llucmajor) però també dins les

calcàries i dolomies Mesozoiques plegades (serra de Tramuntana i cap de Menorca; també el litoral dels termes municipals d'Artà i Capdepera que pertanyen a les serres de Llevant).

Els relleus plans constitueixen zones on predomina l'acumulació i les morfologies erosives són molt escasses. La costa abrupta, per raons òbvies és a on aquests processos es desenvolupen actualment o bé on han quedat enregistrats en el passat. Les morfologies d'abració actives són les que es troben a l'actual nivell marí, mentre que les inactives es localitzen tant per damunt de la mar (fins a un centenar de metres d'alçària), com per davall (a més d'un centenar de metres de profunditat) i constitueixen evidències d'antics nivells erosius de la mar. Les formacions d'abració que es troben a cotes superiors al nivell marí pel fet d'haver estat més temps exposades als efectes de la meteorització i a l'acció molt més acusada dels reajustaments gravitacionals estan més desmantellades que no pas les morfologies submarines, molt abundants i millor conservades; tenint en compte evidentment l'antiguitat de les morfologies en qüestió. Les formacions erosives submarines són molt freqüents a totes les zones litorals de Mallorca i en litologies molt diferents entre si.

Els principals processos erosius que actuen, responsables de la seva gènesi són: primer, l'energia de l'impacte de les ones, que incideix i es dissipa en forma diferent segons les característiques topogràfiques del litoral. Un segon procés és produït pel moviment dels diferents materials arrabassats per les onades (blocs, pedres, arenes, etc.), restes d'animals marins (closques d'invertebrats, esquelets, etc.), o bé materials de mida molt diversa caiguts des de d'alt dels penyalars. Tots aquests detritus es mouen endavant i endarrera pel fons rocós, a més de xocar a la zona frontal del penya-segat, de manera que ocasionen l'erosió litoral. També la bioerosió, especialment provocada per animals perforadors i brostejadors, és un mecanisme per ell mateix important quantitativament i que accentua tots els mecanismes anteriors.

Podem trobar un ampli ventall de morfologies d'erosió costanera, sovint associades entre moltes d'elles. El seu interès des del punt de vista climàtic és que permeten corroborar i reconèixer paleonivells marins, és a dir, antigues línies de costa.

Aquestes morfologies poden, emperò haver estat retreballades en diferents moments degut a les constants oscil·lacions positives i negatives de la mar, de forma que és difícil atribuir un únic episodi erosiu a una morfologia d'abració.

Abundants morfologies d'erosió van esser reportades per Gràcia et al. (1997; 1998), que assenyalen la presència d'abundants coves i plataformes d'abració marines a una fondària aproximada de -15 m, en el sector de costa proper a Portocolom. Aquestes dades concorden amb les alineacions d'espeleotemes freàtics més freqüents corresponents a estabilitzacions negatives del nivell marí. Durant els darrers 200 ka el nivell marí ha estat situat entre -14 i -16 m un mínim de sis ocasions (Tuccimei et al., 2000; Ginés, 2000). Aquest fet és de molta importància cronològica i interpretativa, ja que permet afirmar que durant aquest lapse temporal la mar ha pogut retraballar successives vegades antigues línies de costa disposades entorn de la mencionada cota de -15 m.

També es va citar una altra cota de preferència de paleoformes d'abració als -5 m, cota que l'hem pogut comprovar a molts altres llocs entre -4 i -6 m, però per ara no corroborada amb paleonivells freàtics.

Amb les observacions efectuades als darrers anys, establim una llista provisional d'interval·ls de predominància de paleoformes d'abració detectades: a -3 m; entre -4 i -6 m; a -8 m; entre -10 i -12 m; entre -14 i -16; entre -17 i -18 m; entre -21 i -23 m; a -35 m; a -40 m; a -45 m; entre -50 i -53 m.

Per profunditzar sobre el tema cal fer un estudi topogràfic exhaustiu de diferents zones del litoral, on es detallin les cotes de les diferents morfologies d'abració. En principi la major abundància de cotes estarà en funció de la quantitat de formes conservades i per tant de l'antiguitat, de la possibilitat d'accés (difí-

cil per les fondàries importants) i del temps en que la mar ha estat incidint a uns nivells determinats, així com les litologies que afloren i que són atacades pels fenòmens abracius.

El que és ben cert és que constitueixen evidències de primer ordre dels canvis climàtics que han afectat la Terra, com a mínim generades d'ençà del Plistocè.

a) Viseres

S'anomenen internacionalment com a *notches*. Són menjades de la roca als penya-segats formats pel soccavament de l'erosió marina que marquen la línia de costa al llarg del litoral al formar un petit replà horitzontal (Fig. 2j). La seva mida és centimètrica o mètrica i poden tenir molta extensió o bé únicament estar presents en indrets molt concrets. La part inferior s'acompanya sovint d'un ressalt biogènic generat per algues coral·lines que acumulen carbonat càlcic per algues del gènere *Lithophyllum*, anomenat tenassa (*trottoir*). La presència o absència, o bé la intensitat en què es produeixen està en funció de la fracturació, de la consolidació dels materials que formen el penya-segat i del règim de les onades que afecten al tram de la costa.

b) Plataformes

Són superfícies planes formades arran del nivell de la mar per efecte de l'abració de les onades; amb un pendent que s'incrementa mar endins (Fig. 2k). La seva longitud és diversa i la plataforma s'amplia a mesura que el penya-segat retrocedeix. Una vegada que la plataforma és suficientment extensa i que les ones perden la major part de l'energia en travessar aquesta franja d'aigües poc profundes, comença a predominar la sedimentació.

c) Coves d'abració marina

Estan molt sovint relacionades amb plataformes o rases d'abració plisticèniques (Cuerda, 1975).

Es caracteritzen per tenir l'entrada situada al nivell de la mar, en ocasions de grandària considerable en relació a les dimensions de la resta de la gruta. La mida de la

cavitat sol disminuir progressivament a mesura que es profunditza i habitualment presenta un perfil ascendent cap a la part terminal (Gràcia i Vicens, 1998). A molts d'indrets, però en especial les zones més castigades per l'acció de les ones, presenten la roca arrodonida i pulimentada, juntament amb altres morfologies d'abrasió associades.

Són cavitats d'erosió marina on els processos erosius litorals actuen aprofitant els punts dèbils de la roca, és a dir, fractures, diàclasis, junts d'estratificació, i l'heterogeneïtat dels materials dels penya-segats (Fig. 6, 7 i 8). Generalment són de mides modestes, però n'hi pot haver de mides considerables. En el cas de les formes actives, les aigües marines inunden la meitat inferior del perfil de la cavitat (Fig. 21).

Processos que les afecten, com esbucaments de blocs del sostre, reompliments lito-genètics (formació d'espeleotemes), presència de dunes fòssils a l'interior de moltes de les cavernes i el fet que l'abrasió marina aprofita les mateixes discontinuïtats de la roca, fan que en alguns casos sigui difícil esbrinar si es tracta de cavitats amb un origen purament d'erosió litoral, si és una captura càrstico-marina o bé la sortida a la mar d'importants cavitats freàtiques, de vegades separades de la resta del sistema càrstic per esbucaments clàstics.

Algunes d'aquestes grutes presenten històries geomorfològiques complicades, i s'hi alternen moments d'erosió litoral, períodes de sedimentació de materials terrestres com dunes, lloms, bretxes, etc., formació d'espeleotemes i èpoques en què es troben sota l'aigua (Fig. 11, 13 i 14). Les zones atacades per l'erosió de la mar no solen tenir espeleotemes, però sí als sòtils alts, o bé a les cambres aèries internes, poc o gens afectades per l'acció de les ones.

Alguns exemples de localitats representatives són: la cova Gran (Felanitx) del litoral postorogènic del Miocè superior llevanti (Ginés, 2000; Gràcia *et al.*, 1997), la cova de s'Embarcador (Capdepera) de les calcàries mesozòiques de les serres de Llevant (Ginés, 2000) i la cova Negra (Pollença) de les roques

calcàries mesozòiques de la serra de Tramuntana (Gràcia *et al.*, 2001); aquesta darrera, gairebé subaquàtica per complert, supera en longitud a les grans i nombroses cavitats marines de la costa Brava de Girona (Badiella *et al.*, 1992) i a les del litoral de Pontevedra (Diz i Ríos, 2001). Més abundants que les cavitats actives i que les situades per damunt del present nivell del Mediterrani són les grutes submarines.

La incidència dels col·lapses paleocàrstics en la gènesi o resistència a la formació de formes d'abrasió es gran, especialment a les roques calcàries del Miocè postorogènic del Llevant de l'illa. Aquestes formacions relictcs són buits de dissolució, i per tant de paleocàrstificació produïts a la Unitat d'escull, d'edat Tortoniana, els quals provoquen la deformació i bretxificació del Complex terminal suprajacent, d'edat Messiniana (Pomar *et al.*, 1983a; Fornós i Pomar, 1983). L'existència d'aquests col·lapses té repercussions en la formació de coves d'abrasió marina, segons la major o menor cohesió, principalment en funció del grau de cementació, dels materials bretxats del complex terminal que formen el col·lapse. En el cas de la cova Gran, la zona central és més dèbil i ha constituït lloc d'erosió preferent i ha format la cavitat (Fig. 7). En altres zones, per exemple entre Mondragó i s'Estret des Temps, a Santanyí els cossos centrals de les xemeneies centrals estan fortament cimentats de forma que el seu comportament front de l'erosió marina és del tot contraposta al cas anterior, és una zona de resistència i l'acció erosiva se concentra als costats de l'estructura, formant dues cavitats d'abrasió (Ginés, 2000). Les grans alçades que presenta el sostre fa que puguin haver estat actives durant estadis anteriors inclòs al 7.

Per esfondrament, el sostre de la caverna pot arribar a formar cales estretes i allargades, o entrades moderades i amples, en funció de les dimensions de l'antiga cavitat.

d) Bufadors

Aquesta espectacular morfologia és el resultat de l'acció conjunta de l'erosió

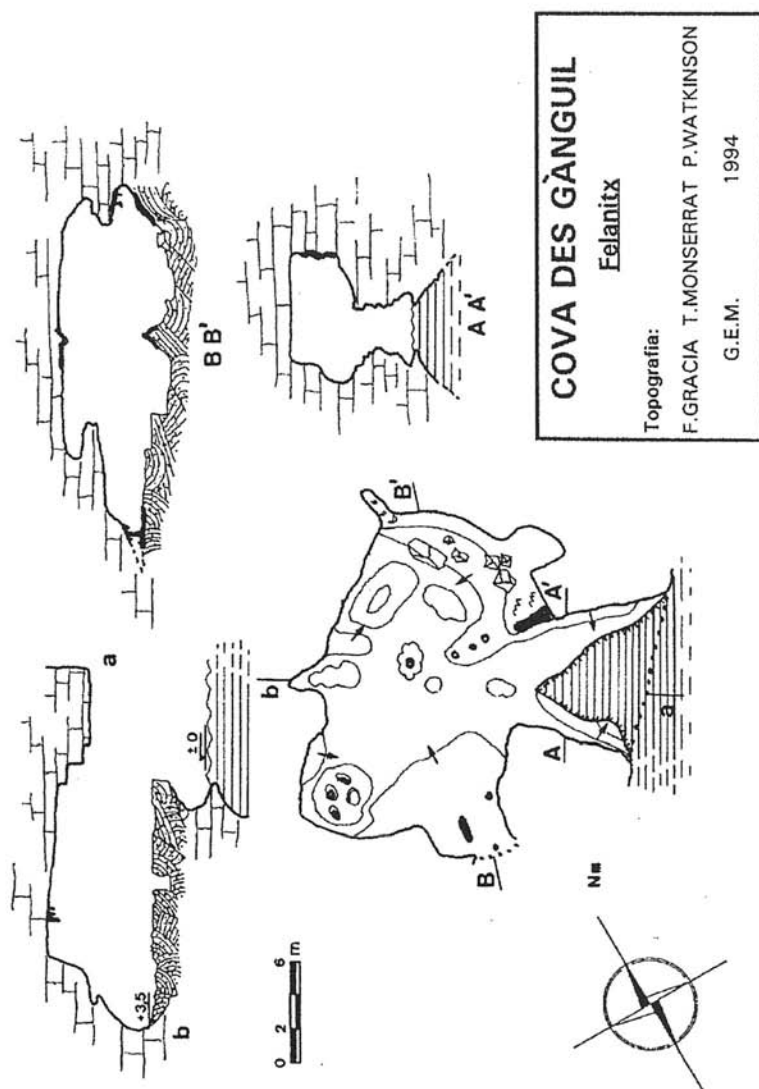


Fig. 6. Topografia de la cova des Gànguil (Portocolom, Felanitx). Cavitat d'abrasió marina de dimensions modestes. La mar hi entra parcialment i un resalt de 3 m ens porta a una antiga plataforma d'abrasió, feta sobre eolianites (secció ab). Sobre les dunes fòssils s'aprecien marmites de gegant que encara conserven algunes de les pedres arrodonides que les formaren. Diverses concrecions estalagmítiques recobreixen les eolianites parcialment (secció BB').

Fig. 6. Survey of the Cova des Gànguil (Portocolom, Felanitx). Marine abrasion cave of modest dimensions. The sea has partially entered into the cave and a 3-metre drop leads to a old abrasion platform, lying on eolianites (section ab). On the fossil dunes can be seen potholes, and some of these still retain the rounded boulder that formed them. Diverse speleothems have partially covered the eolianites (section BB').

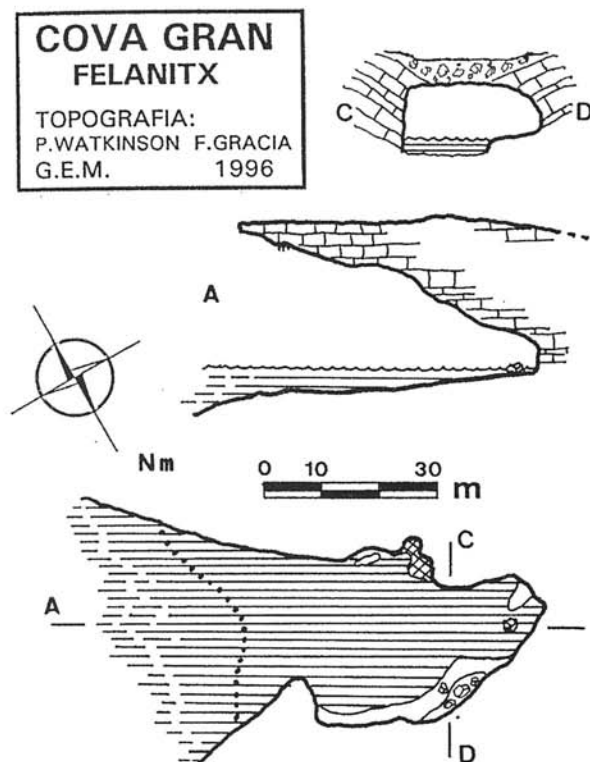


Fig. 7. Topografia de la cova Gran (Portocolom, Felanitx), cavitat d'abrasió marina activa, de típic perfil ascendent, relacionada amb el paleocarst. És un excel·lent exemple d'erosió diferencial que aprofita un reompliment menys cementat que la roca que el conté.
 Fig. 7. Survey of Cova Gran (Portocolom, Felanitx), active marine abrasion cave, with a typical downward profile, it is related with paleokarst. It is an excellent example of differential erosion that takes advantage of a poorly cemented infilling.

mecànica de les onades i la compressió de l'aire dins les cavitats d'abrasió marina. L'acció erosiva es concentra a la part interna, juntament amb l'efecte pneumàtic dels temporals, que ocasiona un augment de la pressió de l'aire atrapat a l'interior de la cavitat i provoca l'obertura de la volta cap a l'exterior.

D'aquesta manera s'obtenen dues boques: una de marina, cronològicament anterior, generalment de mida major, i una altra de superior, d'accés vertical i de dimensions menors, que es presenta a la part superior dels

penya-segats (Fig. 2m). En ampliar-se la segona entrada o bufador, queda únicament un pont de roca que és el que resta del sòtil de la cavitat. Seria l'estadi previ al total desmantellament de l'antiga cova d'abrasió. Posteriorment es forma un petit entrant que determina un retrocés de la línia de costa i una interiorització de l'efecte erosiu de la mar cap a l'interior del penya-segat, de manera que augmenta la superfície d'atac de les ones. És als terrenys neògens de les plataformes del migjorn i del llevant on s'observen molt bé aquestes formacions. El nom de la morfologia prové de l'aigua que surt del bufador i es dispersa per l'aire els dies de temporal cada cop que una ona romp dins la gruta. Alguns bufadors estan situats per damunt de la mar actual, de forma que estan prou alts perquè surti aigua, però si dins la cova marina encara se comprimeix l'aire, aquest surt a pressió pel forat superior.

Tenim molts exemples de bufadors que han esdevinguts submarins, com és el cas de la cova de Cala Sant Vicenç, amb una entrada submarina a

-30 m i sortida a -11 m de fondària.

e) Arcs

Són el resultat de l'erosió diferencial en funció de la disposició estructural dels materials i de la litologia. De vegades es produeixen pel desmantellament dels materials fluïdors envoltats per roques més dures o compactes, però no és una condició del tot necessària. Normalment es poden formar a partir d'algunes fractures i junts d'estratificació, que aprofita l'erosió en llocs geogràfics especialment

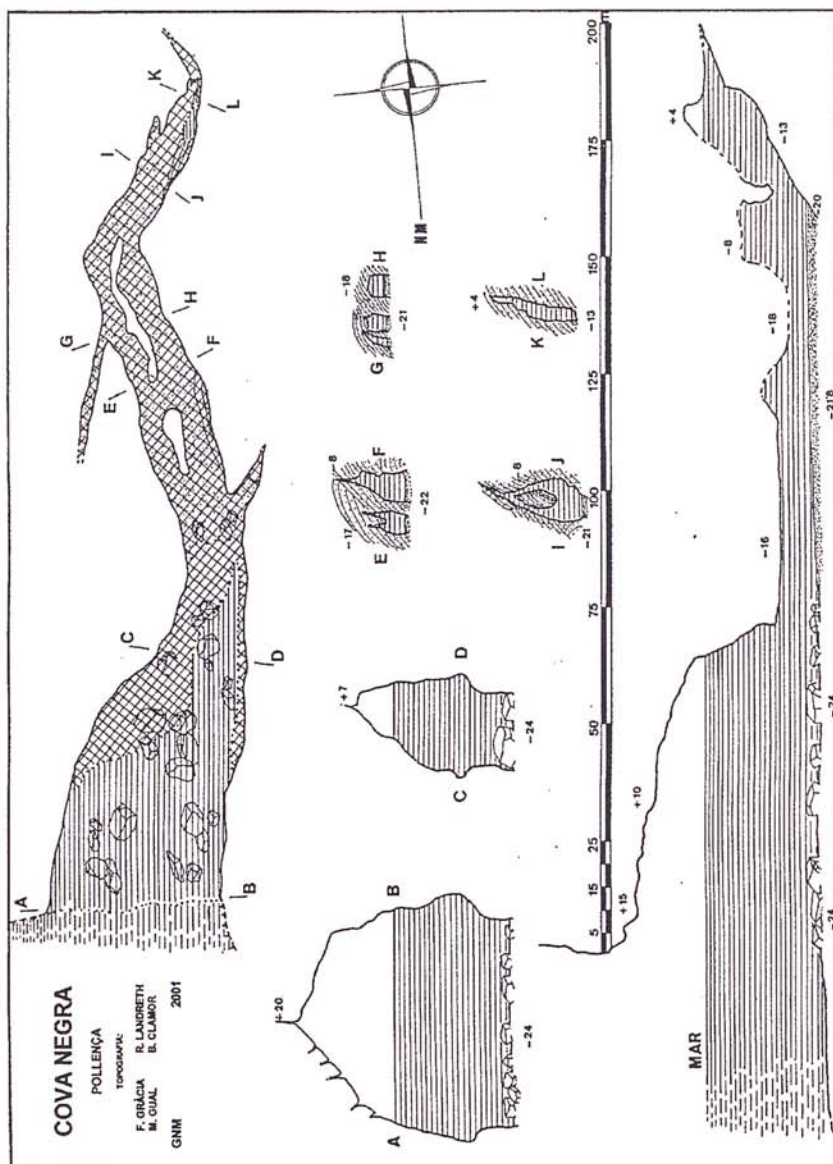


Fig. 8. La cova Negra (cap de Catalunya, Pollença). Cavitat d'abasió marina de 200 m de longitud (la de major distància lineal que tenim constància a Mallorca). Aquestes considerables dimensions es deuen a l'a-profitament de fractures verticals de la roca per engrandir-se. L'erosió ha generat dos caps o promontoris submarins que flanquen la cova. Presenta eolianites al seu interior molt afectades per l'abasió marina.

Fig. 8. Cova Negra (Cap de Catalunya, Pollença). Marine abrasion cave over 200 m long (the longest known on Mallorca). This considerable dimension is due to vertical fractures. Erosion has produced two submarine promontories that flank the cave. Eolianites are present in its interior heavily affected by marine abrasion.

indicats. Estan localitzats als llocs on l'acció de les ones és, o va ser, més intensa (Fig. 2n). El perllongament d'una cova d'abrasió marina en una punta geogràfica o la connexió de dues coves d'abrasió poden formar arcs, de vegades d'una longitud considerable, que reben el nom de túnels (Fig. 2o). Alguns arcs s'han desenvolupat al llarg de diferents períodes de temps, és el cas de les coves de la Seu al litoral de Felanitx, a on dos nivells diferents de la mar crearen plataformes d'abrasió i coves d'abrasió en principi independents fins que, aprofitant una mateixa fractura, s'arribaren a juntar. La seva evolució posterior pot arribar a convertir l'arc en un illot; aquest fet es demostra en alguns casos per l'observació directa dels blocs de l'antic sostre submergit al fons del freu. També poden acabar produint la fragmentació de l'illot. De fet, alguns illots tenen arcs actualment actius, com ara el famós Pontàs de Santanyí (Fig. 10), o d'altres que han esdevingut subaquàtics, com el Faralló d'en Fred a Felanitx, o el Colomer a Pollença, prova d'una transgressió que els va convertir en submarins (Fig. 9). Els arcs sota l'aigua, a una fondària suficient no se segueixen erosionant de forma tan activa, fora de la influència de l'onatge, fins que les condicions glacioeustàtiques tornen a canviar. També tenim arcs per damunt de l'aigua, no afectats per la influència tan directa de la mar actual - és el cas de la punta de sa Foradada de Deià; són evidències d'antigues transgressions marines seguides d'una regressió que els hi confereix l'aspecte actual.

Els arcs submarins de l'illa de na Corberana (a uns centenars de metres de la Colònia de Sant Jordi) constitueixen un exemple molt didàctic d'aquesta morfologia. Es tracta d'una successió de quatre arcs d'abrasió que se situen a fondàries progressives, en un cap rocós submergit (la continuació geogràfica submarina de sa Puntassa), entre els -12 i -22 m.

f) Túnels

Venen a ser arcs d'abrasió però de longitud considerable. També es localitzen molt sovint als caps rocósos, que travessen d'una

banda a l'altra, per tant posseeixen al menys dues entrades situades en extrems oposats (Fig. 2o).

g) Farallons i estaques o agulles

Per evolució d'un arc i si l'arc o pont cau, la porció de promontori separada del terra s'anomena faralló (Fig. 2p). En el cas d'arcs separats de la costa, per esbucament donarien lloc a dos farallons més petits o agulles en cas d'esser més alts que amples. Són



Fig. 9. Arc d'abrasió inactiu de 9 m de diàmetre a la desembocadura del torrent Fondo, que assenyalen juntament amb altres morfologies una zona d'erosió preferent entre -14 i -20 m. Es localitza al final d'un petit cap rocós i està sostingut per un costat per una columna d'abrasió. Foto R. Landreth.

Fig. 9. Inactive abrasion arch having a diameter of 9 m at the outlet of the Torrent Fondo, which shows among other morphologies a preferential zone of erosion between -14 and -20 m. It is located at the end of a small headland and is supported on one side by an abrasion column. Photo R. Landreth.



Fig. 10. Faralló que forma un gran arc d'abrasió actiu (Es Pontàs, Santanyi), que per evolució i esfondrament del pont es pot fragmentar en dues agulles. Foto R. Landreth.

Fig. 10. Rocky peak that forms a large and active abrasion arch (Es Pontàs, Santanyi), that because of evolution and collapse of the bridge may become two needles. Photo R. Landreth.

roques de dimensions variables, que sobresurten del nivell de la mar (Fig. 10). Com a geomorfologia submarina es troben molt sovint farallons totalment submergits, no atacats actualment per les onades. També n'hi ha d'inactius com a vestigis d'antics nivells més alts del nivell de la mar actual.

h) Pedestals

Són indicadors de paleonivells marins els que presenten forma de bolet, per tenir la base soscavada per l'erosió marina (per vise-

res que els envolten), en moltes d'ocasions s'anomenen familiarment "xampinyons" (Fig. 2q).

i) Caps o Promontoris

Són alçàries de roca, més o menys importants que avancen dins la mar (Fig. 2r). En el cas de tractar-se de caps rocosos baixos s'anomenen llengües rocoses, sovint recobertes per sediments i vegetació. En molts de casos la part superior del promontori pot tractar-se d'una plataforma d'abrasió marina i també la seva base, el que té una important vinculació amb estadis de nivell marí, causants d'aquestes morfologies.

Aquests promontoris submarins es troben molt sovint a les sortides de cales i cavitats, formant perllongacions generades en períodes més freds que els actuals, durant cotes més baixes de la mar. Els propis caps poden tenir marques de nivells diferents, tal com colls que separen un petit faralló submarí de la resta, indicant un antic nivell d'abrasió. Un exemple d'aquesta tipologia es troba al Morro d'en Tià a Cabrera, a on el cap rocós continua fins fondàries de -42 m i a la part superior presenta un coll a -10 m que ens delimita un antic faralló.

j) Canyons o canals submarins

Vall submarina encaixada, de morfologia bastant abrupta, estreta i sovint sinuosa, de vessants molts rostos i de dimensions molt diverses. Moltes vegades parteix com a continuació d'un torrent, una cala o una cavitat marina o submarina. En ocasions s'aprecia que en la seva gènesi hi té relació amb fractures. Aquests canals tenen relació amb l'antiga línia de costa, i actualment són evidències fossilitzades de paleolitorals (Fig. 2s). El seu fons està cobert molt sovint de sediments. En ocasions estan flanquejats per promontoris.

En el Davallador des Carros (cap Enderrucat, Lluçmajor) s'han desenvolupat sobre dunes fòssils, i constitueixen una atractiva combinació de canals submarins de petita mida, perpendiculars a la línia de costa i encaixats entre llengües rocoses, amb una plataforma d'abrasió superior als -6 m.

k) Camps de blocs

Únicament tenen interès com a evidència en els casos de que els blocs no es trobin just al peu de penya-segats, ja que en aquest cas provenen per caiguda gravitacional directa d'ells i no ens informen de zones preferencials d'erosió; així i tot poden subministrar informació si estan dipositats sobre una plataforma d'abrasió que els hagi retraballat en qualche període de temps. Es poden definir com a formació de blocs desordenats de roca trencada de grans dimensions, acumulats desordenadament en un pla horitzontal, a llocs que no corresponen al peu d'un penya-segat, i que s'han dipositat allà per l'acció de les onades (Fig. 2t). A la península de Na Foradada de Deià es troben entre -34 i -38 m (Llomas, 2000), marcant, aproximadament, un nivell d'erosió.

l) Paleopenya-segats

Quasi sempre es presenten associats a plataformes, que limiten inferiorment o superior els penya-segats, però en ocasions les plataformes estan molt desdibuixades i no en canvi un escaló o paret de roca, d'extensió molt diversa, segons si estan enterrats sota una capa de sediments (blocs, col·luvions, al·luvions, dunes o pluges fòssils, arenas, etc.), que de vegades formen un pendent suau i fossilitzen totalment o parcial els graons (Fig. 2u).

Se n'han detectats diversos escalons en les proximitats de cala Tuent entre -32 i -36 m i entre -36 i -41 m. També entre -40 i -45 m en el Morro de sa Vaca. En el Munt de cala Castellet baixen de -35 a -50 m. Al litoral situat al nord de la Calobra, en els Cingles davallen fins a -54 m. A la Torre d'en Lluç davallen de -24 a -40 m. A punta Beca dels -25 davalla a -50 m (Llomas, 2000).

m) Marmites de gegant o cocons d'abrasió

Generades per l'excavació que es produeix a la roca subjacent per efecte de la presència d'una a diverses pedres o grans blocs, a les zones on impacten les ones els dies de maror (Fig. 2v). Aquests cocons són de mides molt diverses i es formen al fons rocós en forma de cavitats circulars que poden atènyer alguns metres, tant de fondària com de diàmetre. Es formen pel moviment arremolinat de les pedres arrossegades per l'aigua. El moviment rotatori de desgast produeix unes parets molt suavitzades. Perquè les pedres originals quedin atrapades i comencin a excavar la superfície on es troben, cal que tinguin, o bé un pes suficient o una petita disposició topogràfica favorable que faci de trampa, ja que, en cas de que no hi hagués una d'aquestes condicions, les ones desplaçarien les pedres fora de la marmita. Una vegada començat el procés, aquest s'accelera, i el moviment rotatori o de basculació provoca un enfonsament de la pedra a la vegada que se suavitzava la roca que l'envolta, és a dir, es va formant la marmita. La pedra de cada vegada gira millor (es va arrodonint) i la marmita es va fent semiesfèrica. Si una ona s'emportà la pedra, s'aturaria el procés, exceptuant que caigués dins la marmita una altra pedra llançada per les ones o caiguda del penya-segat o del sòtil si es tracta d'una cova. Una vegada que la pedra s'endinsa molt, el procés es va frenant, perquè les ones no la poden fer girar.

Les marmites de gegant que són actives actualment es troben a pocs metres per damunt o per sota del nivell de la mar, ja que fora de la influència directa de les ones no es mourien les pedres, i si l'impacte de les ones és molt directe, generalment les pedres fugen de l'interior. Cal parlar, doncs, de marmites fòssils, tant per damunt com per sota de la mar actual, i de marmites actives.

n) Columnes d'abrasió

Es formen a les entrades o a l'interior de les coves d'abrasió i poden tenir mides molt considerables (Fig. 2w i 9). No tenen res a veure amb les columnes de precipitació química, ja que s'han format per l'efecte abrasiu

de les ones. De vegades separen o fan de pilars de diferents arcs successius. També poden constituir el pilar central que sustenta i separa dues entrades de la mateixa gruta.

MORFOLOGIES DE SEDIMENTACIÓ

Algunes tenen interès del punt de vista paleoclimàtic (dunes fòssils i jaciments fossilífers), però d'altres recobreixen amb més o menys intensitat l'antic litoral i les morfologies erosives que presentaven (col·luvions, al·luvions, acumulació d'enderrocs al peu de penya-segats), amagant les evidències de presents o antics nivells marins.

a) Dunes fòssils adossades

Un altre dels elements que permeten dur a terme reconstruccions parcials de les condicions climàtiques i geomorfològiques del litoral mediterrani durant els temps plistocènics són els sistemes dunars fossilitzats o paleodunes. Es reconeixen fàcilment pel color i la disposició inclinada i molt irregular dels nivells d'arena com a conseqüència de l'origen eòlic. Són abundants dins les eolianites els motlles d'arrels de la vegetació i gasteròpodes pulmonats.

Les transgressions i regressions del nivell marí van donar lloc a les formacions dunars, algunes de bastant d'espessor, estretament relacionades amb la línia de costa (Cuerda, 1975). Amb freqüència durant les regressions glacials la coberta de les dunes s'estenia per davall de l'actual nivell marí varis centenars de metres o quilòmetres, com en el cas de la badia de Palma. Per tant només mostren una petita part del que recobrien aquests extensos sistemes.

Aquests cordons dunars, si troben penya-segats al seu davant s'acumulen a la base, van creixent en alçària i s'hi adossen. La costa, en molts d'indrets es troba recoberta per dunes fòssils plistocèniques. Molts d'aquests dipòsits eòlics i marins es troben actualment per sota de la mar, des de poca fondària fins a devers cent metres, segons la intensitat de la regressió a la qual pertanyen (Fig. 2x). En alguns llocs de poca fondària sobresurten per damunt les aigües formant

illots, com és el cas d'algunes illetes del litoral del sud-oest. Aquests cas és espectacular al nord de Formentera, on antics illots de materials dunars fòssils es troben connectats per tòmbols actuals i formen l'allargada punta de Trucadors.

Moltes cavernes, tant d'abració com càrstiques, presenten dipòsits d'aquests materials al·loctons d'origen dunar que es varen introduir per les boques i varen donar lloc a importants reblliments. Aquesta colmatació pot ésser parcial o total, fins a impedir l'accés a la cavitat o possibles continuacions que resten comunicades pels dipòsits eòlico-marins (Fig. 2x, 11, 12, 13 i 14). En alguns casos encara tenen la forma cònica o en resten evidències; serveixen d'exemple la cova des Secret des Moix (Ginés *et al.*, 1975), la cova des Sòtil (Ginés, 2000, Gràcia *et al.*, 1998) i la cova de ses Pedreres (Vicens *et al.*, 2001) situades a Manacor, i la cova del Dimoni a Felanitx (Gràcia *et al.*, 1997). Posteriors accions de la mar durant els períodes més càlids tornaren a erosionar aquests dipòsits reobrint les cavitats i crearen plataformes i marmites de gegant. Cal remarcar que aquests materials són més fàcilment erosionables que no la roca sobre la qual estan situats.

Molt sovint aquests dipòsits es troben recoberts per colades estalagmítiques, la seva datació possibilitarà el poder enquadrar-les dins un temps geològic.

Molts de trams de costa (especialment a la marina de Llucmajor, però també per molts de sectors del Llevant) estan recoberts per eolianites plistocèniques que en molts de casos recobreixen, colmaten i oculten les roques i morfologies anteriors formades sobre ells. En algunes franges de la costa representen una majoria dels afloraments. Aquests dipòsits són especialment atacats per l'abració de les ones, formant abundants morfologies, però amb menor consistència que els materials subjacents.

b) Jaciments fossilífers

La presència de jaciments ens proporciona informació de les modificacions experimentades pel nivell de la mar i dels canvis climàtics, no només per les altituds on es tro-

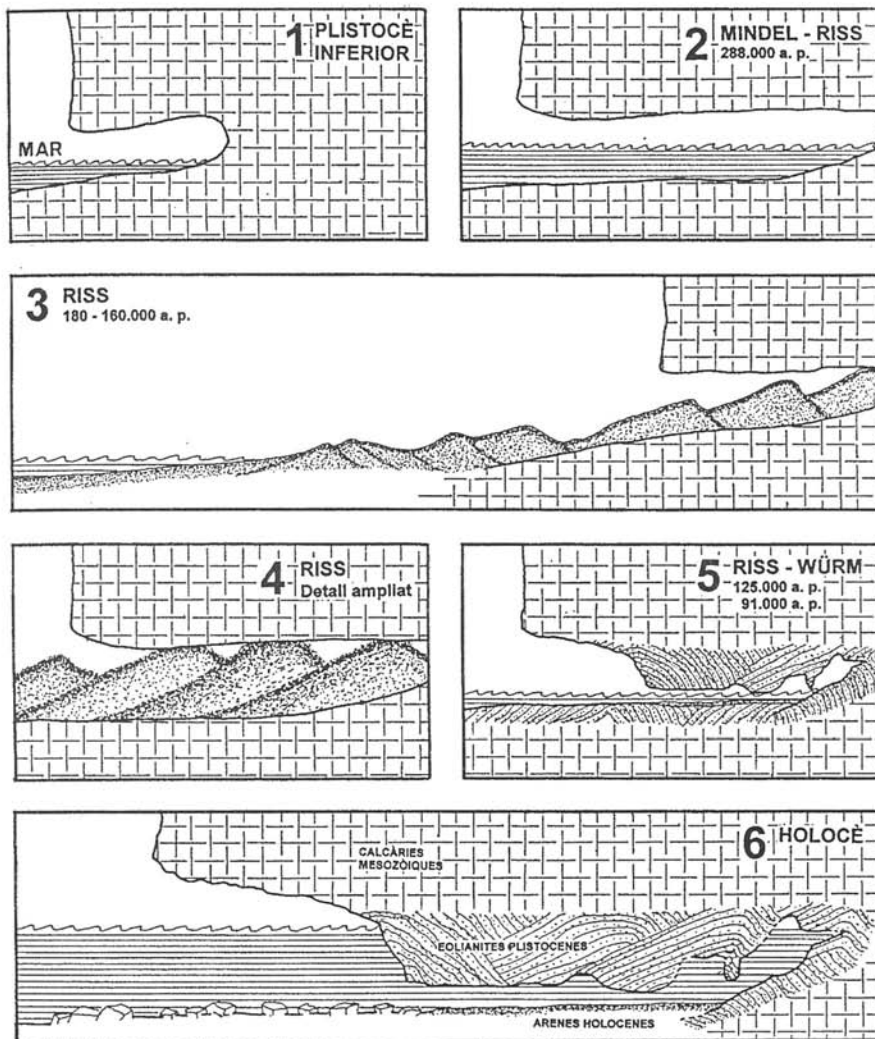


Fig. 11. Evolució geomorfològica de la cova Negra (cap de Catalunya, Pollença): 1) Cova d'abrasió marina de petites dimensions; 2) Cova d'abrasió de gran llargària, aprofitant fractures de la roca, formada tal vegada al llarg de diverses fases d'erosió del Quaternari; 3) Regressió marina i formació d'extensos platges, amb formacions dunars terminals que s'introdueixen dins l'àmplia cavitat; 4) Rebliment quasi total de la cova per les eolianites plistocèniques; 5) Nova transgressió marina i reactivació de l'erosió. La major debilitat de les eolianites fa que la cavitat s'obri seguint preferentment aquests materials; 6) Segueix pujant el nivell marí, adquirint la configuració actual.

Fig. 11. Geomorphological evolution of the Cova Negra (Cap de Catalunya, Pollença): Small marine abrasion cave. 2) Very long abrasion cave, taking advantages of rock fractures, possibly formed in various phases during the Quaternary. 3) Marine regression and formation of extensive beaches, and formation of terminal dunes that have penetrated into a large cave. 4) Almost complete infilling of a cave by Pleistocene eolianites. 5) New marine transgression and re-activation of the erosion. The greater weakness of the eolianites means that the cave has enlarged generally in this material. 6) Following sea-level rise, this is the current layout of the cave.



Fig. 12. Dunes fòssils (eolianites) de la cova Negra (cap de Catalunya, Pollença), formen part de les parets i sostre de la cova. Estan situades actualment per davall del nivell de la mar. Són abundants les cavitats submarines que presenten eolianites que les rebleixen parcialment i que solen estar molt erosionades per antics nivells regressius de la mar. Foto R. Landreth.
Fig. 12. Fossil dunes (eolianites) in the Cova Negra (Cap de Catalunya, Pollença), forming part of the cave's walls and roof. They currently lie below sea-level. There are many submarine caves that contain eolianites which partially fill them in and are normally heavily eroded by previous regressive sea-levels. Photo R. Landreth.

ben els jaciments, sinó també per les característiques de la fauna trobada (Cuerda, 1987). Així la fauna termòfila recollida de mol·luscs marins a cotes superiors a l'actual,

evidencia períodes càlids i transgressions (Fig. 2y). El contrari passa amb dipòsits on aquestes espècies de valor estratigràfic no hi són, o en què fins i tot trobam espècies que avui en dia viuen en mars fredes; aquestes es localitzen en efectuar dragats o cales dels fons marins (veure Vicens *et al.*, en aquest mateix volum)

EVIDÈNCIES CÀRSTICO-MARINES

Captures de cavitats càrstiques per part de l'erosió litoral. Les cavitats d'abrasió marina poden connectar amb buits d'origen càrstic, donant lloc a cavitats de gènesi mixta, s'anomenen captures càrstico-marines (Montoriol-Pous, 1971a).

La seva presència és freqüent ja que, llevat de les entrades per esbucament del sostre, són una via d'obertura de les cavitats a l'exterior, ja que d'altra manera serien inaccessibles. El moment de connexió amb la mar du implícit la incorporació de morfologies d'erosió marina a les zones properes a la boca i també de dipòsits sedimentaris d'origen marí, que poden ser arenes, graves, còdols i restes d'organismes (Fig. 15).

En molts de casos és difícil desitriar l'origen càrstic de la cavitat, podent-se tractar simplement de grutes marines les quals en ocasions poden contenir importants rebliaments litoquímics, si les condicions d'infiltració i de precipitació són favorables.

La presència d'espeleotemes freàtics en llocs concrets de les cavitats, que no es podrien formar actualment en ambients geoquímics de

connexió directa amb la mar, confirmen alguns casos de captures càrstico-marines i a més a més proporcionen un límit temporal de la captura (Ginés, 2000).

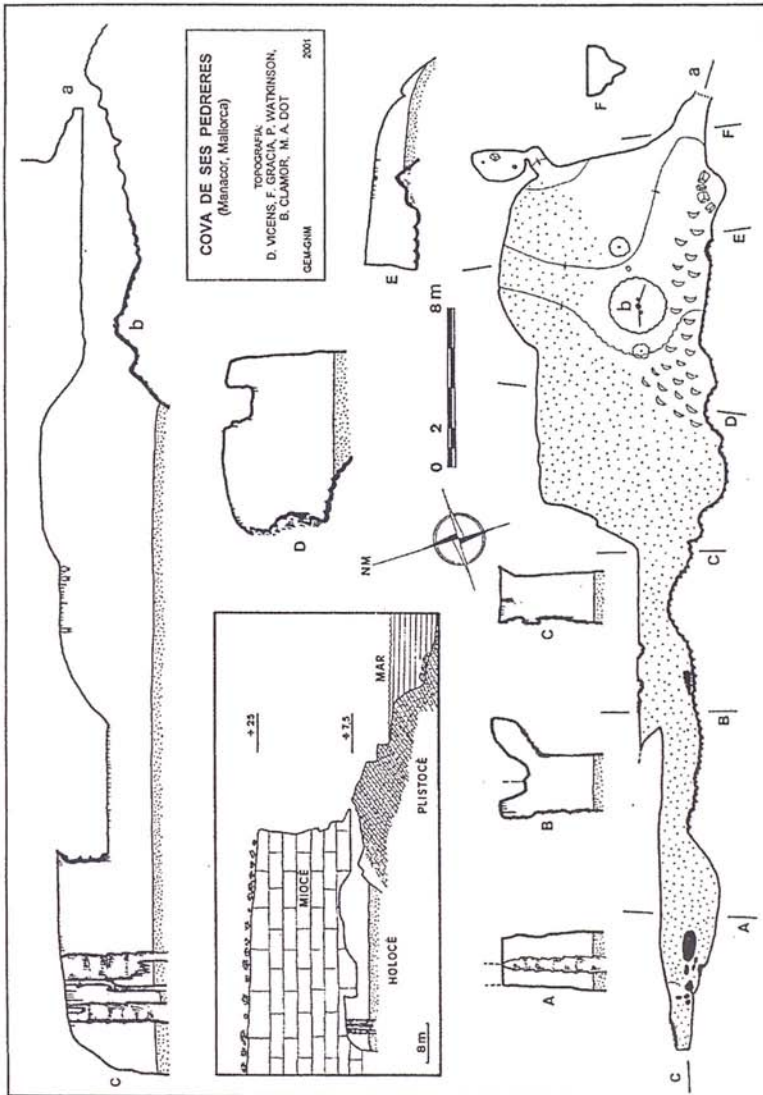


Fig. 13. Topografia de la cova de ses Pedreres (Frontó des Molar, Manacor). Es tracta d'una cavitat d'abració marina que presenta una duna pliocènica adossada al penya-segat i que ocupa part de la gruta. Al llarg d'un període més fred que l'actual el nivell marí havia sofert una regressió, amb el conseqüent avanç de la línia de costa mar endins i la formació d'extenses platges i dunes adossades als penya-segats. Els dipòsits eòlico-marins van tancar l'entrada de la gruta fins que un posterior canvi climàtic va fer pujar el nivell marí i l'acció erosiva acabà obrint la boca.

Fig. 13. Survey for the Cova de ses Pedreres (Frontó des Molar, Manacor). It is a marine abrasion cave that has a Pleistocene dune banked up against the cliff and occupies part of the cave. During periods colder than the present the sea-level would have regressed with the shore line further out to sea and with the formation of extensive beaches and dunes banked up against the cliffs. The eolian-marine deposits covered the cave's entrance until a later climatic change led to a rise in sea-level and erosion opened the cave's mouth.

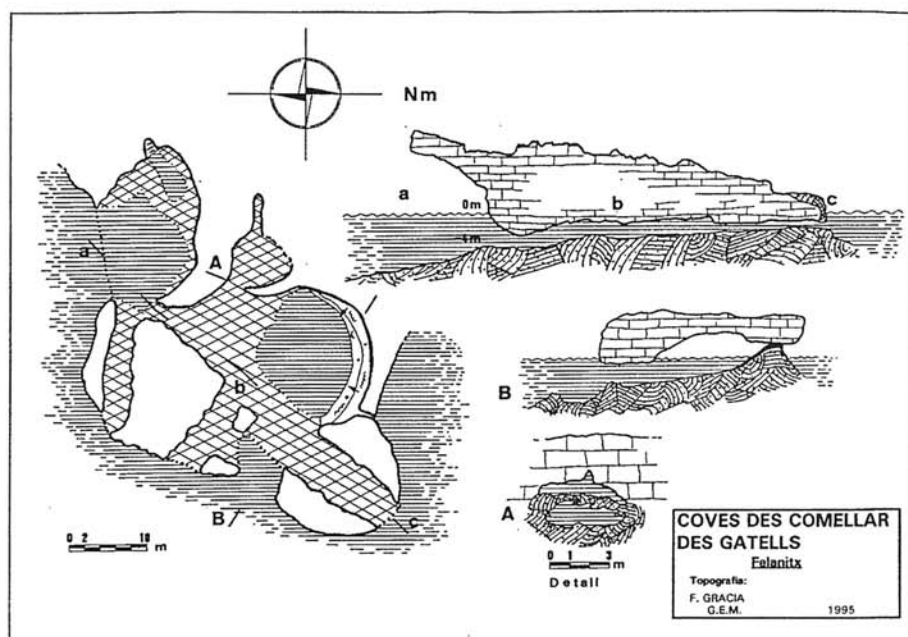


Fig. 14. Topografia de la cova des Comellar des Gatells (Portocolom, Felanitx). Es tracta d'una cavitat d'abrasió marina amb sis entrades, de les quals només una és marina. Exceptuant l'entrada situada al sud i la cambra d'aire tot el recorregut és subaquàtic. La cavitat primigènia es troba totalment modificada després de la sedimentació, fossilització i posterior erosió de les dunes fòssils que cobreixen tot el pis.

Fig. 14. Survey for the Cova des Comellar des Gatells (Portocolom, Felanitx). It is a marine abrasion cave with six entrances, only one of which is marine. Apart from the southmost entrance and an air-chamber, the cave is submarine. The earliest evolution of the cave has been completely modified following sedimentation, fossilisation and posterior erosion of the fossil dunes that totally cover the floor.

Exemples molt clars d'aquestes cavitats són: la cova des Coloms (Trias, 1992), cavitat que posseeix una gran entrada marina producte de l'erosió litoral que encara li afecta; la cova de Cala Falcó, connectada amb l'exterior per l'abrasió marina d'un antic nivell situat a +2 m respecte a l'actual nivell marí (Trias i Mir, 1977; Ginés, 2000); la cova des Dimoni (Ginés, 2000) i la cova des Ases (Gràcia et al., 1997), ambdues amb entrades terrestres superiors i accessos submarins formats en un període més fred que l'actual; la cova des Drac de Cala Santanyí (Gràcia et al., 1998), també és una bona mostra de captura per la dinàmica erosiva litoral.

Aquests processos tenen un alt interès espeleocronològic, ja que poden permetre individualitzar i datar etapes evolutives de les coves (i dels sediments associats a les etapes), fent-ho a partir de criteris temporals d'anterioritat o posterioritat en relació amb el moment concret en què es produeix el fet de la captura marina (Ginés, 2000).

EVIDÈNCIES TORRENCIALS

MORFOLOGIES D'EROSIÓ

a) Perllongació dels torrents sota les aigües

El jaç dels torrents, amb els salts, marmites i altres morfologies que presenten poden perllongar-se per sota de la mar, amb la

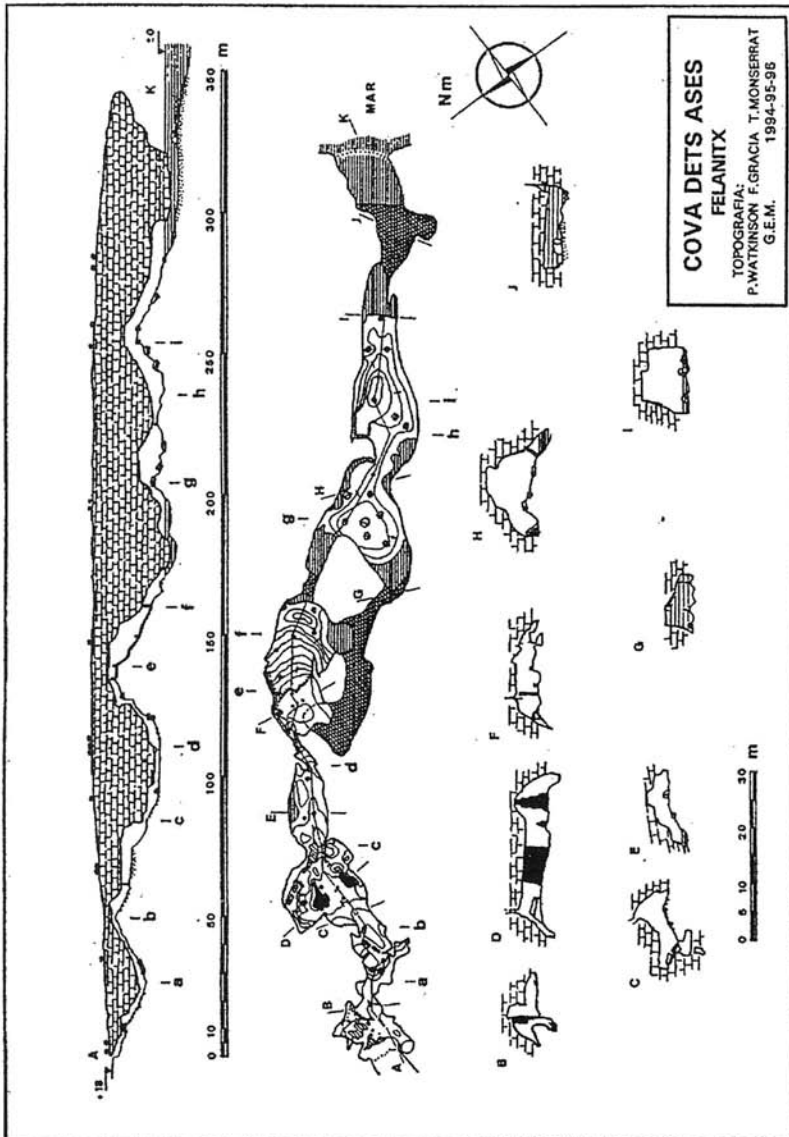
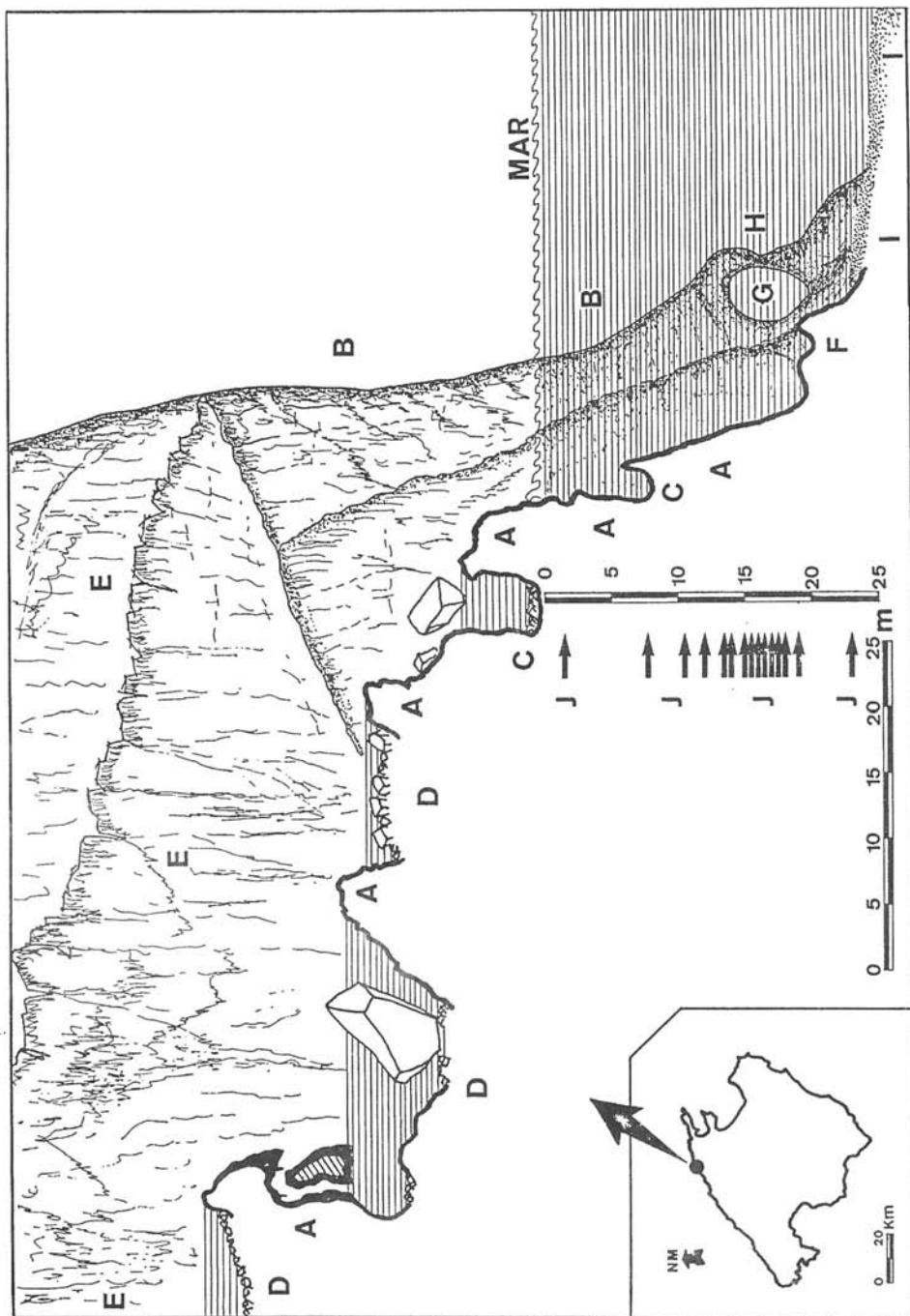


Fig. 15. Topografia de la cova dels Ases, exemple de captura càrstico-marina causada per l'erosió litoral. És una cavitat molt modificada respecte del sistema de conductes iniciadors, excavats en règim freàtic, situats originalment per davall de les sales actuals. Els processos clàstics han provocat creixement antigravitacional i el desenvolupament volumètric de la cova, essent els responsables de l'obertura de les dues entrades terrestres.

Fig. 15. Survey of the Cova dels Ases, example of karstic-marine capture caused by coastal erosion. It is a heavily modified cave with respect to the initial system of conduits, being excavated in a phreatic environment lying below the level of the present chambers. The breakdown processes have led to the cave progression upward and to an increase in its volume, which are responsible for the opening of its two terrestrial entrances.



conseqüent informació que subministren (Fig. 9 i 16). El torrent de na Móra (Sóller) és un bon exemple d'invasió del tram final d'un torrent per les aigües de la mar i la formació d'una caleta. La continuació submarina del torrent Fondo fins als -25 m, amb algunes morfologies associades n'és un altre exemple; així en moments climàtics més freds el Gran Salt (20 m de desnivell) es veia superat pel darrer salt que pega a la mar (actualment quasi totalment submari) d'uns 25 m, que després de 5 m més, resta ocult sota una capa de sediments.

MORFOLOGIES DE SEDIMENTACIÓ

a) Estudi dels rebliments dels torrents situats per sota del nivell marí

A l'actual plataforma continental submarina de la badia de Palma s'ha ecografiat per perfils sísmics d'alta resolució la xarxa hidrogràfica de paleollits a on s'aprecia la desembocadura d'una gran conca hidrogràfica, actualment submergida que correspondria als al·luvions de quasi 200 m de potència que es troben a distints indrets del pla de Palma (Muntaner, 1954; Verd, 1972). Les anàlisis micropaleontològiques semblen indicar un origen rissà i una reestructuració würmiana (Mateu, 1985). L'àrea de dispersió, la longitud i l'amplada i el punt de confluència

d'aquests paleollits comprenen el ventall que va des de cap Enderrocà a Illetes amb una àrea de confluència central més enllà de la recta que uneix cap de Regana i cala Figuera. Formen un llit dur de calcoarenites i eolianites amb microfauna i nanoplancton coetani, recobertes de sedimentació no consolidada i holocènica que assoleix en alguns punts els 25 m de potència i es detecta un canal principal torrencial que arriba als -80 m de fondària. Aquests han estat datats en funció de la microfauna sedimentària que contenen, analitzant els foraminífers i coccolitofòrids del substrat consolidat solcat per la xarxa hidrogràfica.

Agraïments

Volem manifestar la nostra gratitud als amics i companys espeleòlegs Miquel Gual, Kiko Cabrera, Miquel Alexandre Dot, Tòfol Monserrat i M^a del Pilar Roig per la col·laboració prestada en la realització d'algunes de les topografies i fotografies del treball. Hem d'agrair també a Oscar Espinasa del C.A.S. Tritón per fotografiar part de les evidències geomorfològiques.

Fig. 16. Perfil de la desembocadura del torrent Fondo que evidencia antics episodis freds del Mediterrani. Es pot apreciar la perllongació del darrer salt per sota del nivell de la mar, fins als 25 m de fondària, on els sediments amaguen altres possibles morfologies. També es troben entre els -6 i -8 m, marmites de gegant d'erosió torrencial. Al promontori que flanqueja la desembocadura del torrent, sota les aigües hi ha un arc d'abració de 9 m de diàmetre màxim, amb una columna de la mateixa gènesi de poc més d'1 m de diàmetre. Morfologies observables: A) Salts del torrent; B) Promontori; C) Marmites de gegant torrencials; D) Gorgs; E) Parets rocoses del torrent; F) Marmites de gegant d'abració marina; G) Arc d'abració marina; H) Columna d'abració; I) Sediments; J) Antics nivells de la mar. Part aèria modificada de Trias i Ramón (1999); part subaquàtica topografiada per F. Gràcia i M. Gual.

Fig. 16. Profile for the outlet of the Torrent Fondo which shows evidence for previous cold pulsations in the Mediterranean. A lengthening by at least 25 m of the last jump above the sea can be appreciated. The sediments have covered over other possible morphologies. Potholes, caused by the erosive action of the torrent, can also be found between -6 and -8 m. There is an abrasion arch with a maximum diameter of 9 m which is situated above sea-level on the promontory that flanks the torrent's mouth. The arch also has a column, a little over one metre in diameter, sharing the same origins. Observable morphologies: A) Jumps on the torrent. B) Promontory. C) Torrential potholes. D) Deep hole. E) Rocky stream walls. F) Marine abrasion pothole. G) Marine abrasion arch. H) Abrasion column. I) Sediments. J) Previous sea-levels. Aerial part modified from Trias and Ramón (1999); Topography of submerged part by F. Gràcia and M. Gual.

Bibliografia

- Back, W., Hanshaw, B.B. i Van Driel, J.N. 1984. Role of groundwater in shaping the eastern coastline of the Yucatan peninsula, Mexico. In: *Groundwater as a Geomorphic Agent*. La Fleur Allen i Unwin 281-293. Boston.
- Badiella, E., Badiella, X. i Badiella, E. 1992. Les cavitats litorals del Baix Empordà (I), de Palamós a Aiguablava. *Butll. SIS*, 12: 26-51.
- Butzer, K.W. 1975. Pleistocene littoral-sedimentary cycles of the Mediterranean basin: a Mallorquin view. In: Butzer, K.W. i Isaac, G.L. (Eds.): *After the Australopithecine*: stratigraphy, ecology and culture change in the Middle Pleistocene. 25-71.
- Butzer, K.W. i Cuerda, J. 1962. Coastal stratigraphy of southern Mallorca and its implications for the Pleistocene chronology of the Mediterranean sea. *Journal of Geology*, 70 (4): 398-416.
- Cuerda, J. 1975. *Los tiempos cuaternarios en Baleares*. Instituto de Estudios Baleáricos 304 pp. Palma de Mallorca.
- Cuerda, J. 1987. *Moluscos marinos y salobres del Pleistoceno Balear*. Caja de Baleares "Sa Nostra". Palma de Mallorca.
- Cuerda, J. i Sacarès, J. 1992. *El Quaternari al Migjorn de Mallorca*. Conselleria de Cultura, Educació i Esports del Govern Balear, 130 pp. Palma de Mallorca.
- Diz, J.H. i Rios, R. 2001. Catálogo de formas do litoral pontevedrés. *Furada*, 10: 4-49.
- Fornós, J.J. i Pomar, L. 1983. Mioceno superior de Mallorca: unidad Calizas de Santanyi (complejo Terminal). In: Pomar, L., Obrador, A., Fornós, J.J. i Rodríguez-Perea, A. (Eds.): *El terciario de las Baleares. Guía de las Excursiones del X Congreso Nacional de Sedimentología. Menorca*, 1983: 139-175. Palma de Mallorca.
- Ginés, A. i Ginés, J. 1989. Absolute dating of phreatic speleothems from coastal caves of Mallorca (Spain). *Proc. 10th Int. Congress Speleol.*, 1: 191-193. Budapest.
- Ginés, A. i Ginés, J. 1992. Las coves del Drac (Manacor, Mallorca). Apuntes históricos y espeleogenéticos. *Endins*, 17-18: 5-20.
- Ginés, A., Ginés, J. i Pons, J. 1975. Nuevas aportaciones al conocimiento morfológico y cronológico de las cavernas costeras mallorquinas. *Speleon*, 49-56.
- Ginés, J. 1995. L'endocast de Mallorca: Els mecanismes espeleogenètics. *Endins*, 20/*Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 3: 71-86.
- Ginés, J. 2000. *El karst litoral en el levante de Mallorca: una aproximación al conocimiento de su morfogénesis y cronología*. Tesis Doctoral. Universitat de les Illes Balears. 595 pp. Palma de Mallorca.
- Ginés, J. i Ginés, A. 1993a. Speleochronological approach to some coastal caves from "Cap Vermell" area in Mallorca island (Spain). *Proc. XI Int. Congress Speleol.* 56-59. Beijing.
- Ginés, J. i Ginés, A. 1993b. Dataciones isotópicas de espeleotemas freáticos recolectados en cuevas de Mallorca. *Endins*, 19: 9-15.
- Gràcia, F., Clamor, B., Aguiló, C. i Watkinson, P. 1998b. La cova des Drac de cala Santanyi (Santanyi, Mallorca). *Endins*, 22: 55-66.
- Gràcia, F., Clamor, B., Gracia, P., Merino, A., Vega, P. i Mulet, G. 2001a. Notícia preliminar del jaciment arqueològic de la font de ses Aigües (Alcúdia, Mallorca). *Endins*, 24: 59-73.
- Gràcia, F., Clamor, B. i Laverne, J.J. 2000. Les coves de cala Varques (Manacor, Mallorca). *Endins*, 23: 41-57.
- Gràcia, F., Clamor, B. i Watkinson, P. 1998a. La cova d'en Passol i altres cavitats litorals situades entre cala sa Nau i cala Mitjana (Felanitx, Mallorca). *Endins*, 22: 5-18.
- Gràcia, F., Clamor, B., Watkinson, P. i Landreth, R. 2001b. Impacte ambiental de l'abocament d'aigües fecals a la cova d'en Bessó (Manacor). Estudi espeleològic i mesures d'actuació per la salvaguarda d'una important cavitat subaquàtica del llevant de Mallorca. In: Pons, G.X. (ed.) *III Jornades del Medi Ambient de les Illes Balears*. Soc. Hist. Nat. Balears. 102-103.
- Gràcia, F., Landreth, R., Gual, M. i Clamor, B. 2001. La cova Negra (Pollença, Mallorca): Presència de dunes fòssils dins una cavitat submarina. *Endins*, 24: 137-142.
- Gràcia, F. i Vicens, D. 1998. Aspectes geomorfològics quaternaris del litoral de Mallorca. In: Fornós J. J. (ED.). *Aspectes Geològics de les Balears*. Universitat de les illes Balears: 307-329.
- Gràcia, F., Watkinson, P., Monserrat, T., Clarke, O. i Landreth, R. 1997. Les coves de la zona de ses Partions-Portocolom (Felanitx, Mallorca). *Endins*, 21: 5-36.
- Grodzicki, J. 1985. Genesis of the Nullabor Plain caves in southern Australia. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 29 (1): 37-49.
- Henning, G. J., Ginés, A., Ginés, J. i Pomar, L. 1981. Avance de los resultados obtenidos mediante datación isotópica de algunos espeleotemas subacuáticos mallorquines. *Endins*, 8: 91-93.

- Lowry, D. C. i Jennings, J.N. 1974. The Nullarbor karst Australia. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 18 (1): 35-81. Berlin.
- Llomas, A. 2000. *Islas Baleares. Las 300 mejores inmersiones, recogidas en 282 itinerarios*. Edit. Geoplaneta, 368 pp.
- Mateu, G. 1985. Nuevos datos micropaleontológicos para interpretar el glacioteconoeustatismo del Pliopleistoceno de Baleares (Mediterráneo occidental). In: *Pleistoceno y geomorfología litoral*. Universidad de Valencia.
- Merino, A. 1993. La cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor, Mallorca). *Endins*, 19: 17-23.
- Merino, A. 2000. Nuevas extensiones de la cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor, Mallorca). *Endins*, 23:
- Montoriol-Pous, J. 1971a. Estudio de una captura kárstica-marina en la isla de Cabrera (Baleares). *Acta Geológica Hispánica*, 6 (4): 89-91.
- Muntaner, A. 1954. Nota sobre los aluviones de Palma de Mallorca. *Boll. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 1: 36-48.
- Mylroie, J.E. i Carew, J.L. 1988. Solution conduits as indicators of late Quaternary sea level position. *Quaternary Science Reviews*, 7: 55-64.
- Mylroie, J.E. i Carew, J.L. 2000. Speleogenesis in coastal and oceanic settings. In: Klimchouk, A.B., Ford, D. C., Palmer, A.N. i Dreybrodt, W. (Eds.): *Speleogenesis. Evolution of karst aquifers*. National Speleological Society, 226-233. Huntsville.
- Plummer, L.N. 1975. Mixing of sea water with calcium carbonate ground water. *Geol. Soc. Amer. Mem.*, 142: 219-236.
- Pomar, L. i Cuerda, J. 1979. Los depósitos marinos pleistocénicos en Mallorca. *Acta Geológica Hispánica. Homenatge a Lluís Solé i Sabarís*. 14: 505-513. Barcelona.
- Pomar, L., Esteban, M., Calvet, F. i Barón, A. 1983a. La Unidad Arrecifal del Mioceno superior de Mallorca. In: Pomar, L., Obrador, A., Fornós, J.J. i Rodríguez-Perea, A. (Eds.): *El terciario de las Baleares. Guía de las Excursiones del X Congreso Nacional de Sedimentología. Menorca*, 1983: 139-175. Palma de Mallorca.
- Proctor, C. J. 1988. Sea-level related caves on Berry Head, South Devon. *Cave Science*, 15 (2): 39-49.
- Rose, J., Meng, X. i Watson, C. 1999. Palaeoclimate and palaeoenvironmental responses in the western Mediterranean over the last 140 ka: evidence from Mallorca, Spain. *Journal of the Geological Society*, 156: 435-448.
- Trias, M. 1992. Noves dades sobre la cova des Coloms I (Manacor, Mallorca). *Endins*, 17-18: 21-23.
- Trias, M. 2000. La cova des Moro (Manacor, Mallorca). Alguns destacats aspectes de la seva morfologia. *Endins*, 24: 73-77.
- Trias, M. i Ramón, F. 1999. *Els torrents clàssics de la serra de Tramuntana*. 149 pp. Palma de Mallorca.
- Trias, M. i Mir, F. 1977. Les coves de la zona de Can Frasquet - cala Varques. *Endins*, 4: 21-42.
- Tuccimei, P., Ginés, J., Ginés, A., Fornós, J.J. i Vesica, P. 1998. Dataciones Th/U de espeleotemas freáticos controlados por el nivel marino, procedentes de cuevas costeras de Mallorca (España). *Endins*, 22: 99-107.
- Tuccimei, P., Ginés, J., Delitala, C., Pazzelli, L., Taddeucci, A., Clamor, B., Fornós, J.J., Ginés, A. i Gràcia, F. 2000. Dataciones Th/U de espeleotemas freáticos recolectados a cotas inferiores al actual nivel marino en cuevas costeras de Mallorca (España): aportaciones a la construcción de una curva eustática detallada de los últimos 300 ka para el Mediterráneo occidental. *Endins*, 23.
- Verd, J. M. 1972. Introducción al estudio sedimentológico del Cuaternario continental del Llano de Palma. *Boll. Soc. Hist. Nat. Baleares*, 17: 79-126.
- Vesica, P. L., Tuccimei, P., Turi, B., Fornós, J.J., Ginés, A. i Ginés, J. 2000. Late Pleistocene Paleoclimates and sea-level change in the Mediterranean as inferred from stable isotope and U-series studies of overgrowths on speleothems, Mallorca, Spain. *Quaternary Science Reviews*, 19: 865-879.
- Vicens, D., Gràcia, F., Watkinson, P., Landreth, R., Clamor, B. i Dot, M.A. 2001. La cova de ses Pedreres (Manacor, Mallorca). *Endins*, 24: 107-111.